

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

### **Kondenzátorové svařování matic a vyhodnocování kvality svaru pomocí svařovacích parametrů**

### **Condenser welding of nuts and quality evaluation of weld using the welding parameters**

Jakub Konečný

**KSP – SM – B41**

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jindřich Horáček – *Benteler ČR s.r.o., Chrastava*

#### **Rozsah práce a příloh:**

<b>Počet stran</b>	<b>47</b>
<b>Počet tabulek</b>	<b>4</b>
<b>Počet příloh</b>	<b>3</b>
<b>Počet obrázků</b>	<b>20</b>

**Datum:** 25. 5. 2012



# ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Jakub Konečný

Téma práce: Kondenzátorové svařování matic a vyhodnocování kvality  
svaru pomocí svařovacích parametrů

Condenser welding nuts and quality evaluation weld using the  
welding parameters

Číslo BP: KSP-SM- B41

Vedoucí BP: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Jindřich Horáček – *Benteler ČR s.r.o., Chrastava*

## Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá nasazením moderní metody využití kondenzátorového výboje u odporového svařování lisem a její začlenění do výroby. Systém PQS Weld zaznamenávající procesní data během procesu umožňuje stálou kontrolu provedených svarů společně se zaručením vyhovující kvality. V jednotlivých kapitolách, počínaje teoretickou částí jsou popsány zákonitosti odporového svařování, následně specializování na svařování výstupkové. V praktické části je uveden podrobný popis všech částí, které do procesu svařování vstupují, dále popis prováděných zkoušek a zároveň metodika zkoušení s dílčími výsledky.

**Abstract:**

This thesis deals with the modern methods of using capacitor in resistance welding and its integration into the production. During the process of welding the PQS Weld system allows continual control of accomplished welds and guarantees suitable quality. In a theoretical part of the thesis are described the patterns of resistance welding and specializing in projection welding. A practical part deals with detailed description of all welded parts, description of accomplished tests and testing methodology with partial results.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25. května 2012

.....  
Jakub Konečný  
Husova ul. 656 / 28  
460 17 Liberec 1

**Poděkování:**

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Heinzovi Neumannovi, CSc. a konzultantovi Ing. Jindřichovi Horáčkovi za pomoc, trpělivost, zkušenosti a cenné rady, které mi byly jimi poskytnuty.

Dále děkuji zaměstnancům závodů v Rumburku a Chrastavě firmy Benteler ČR s.r.o. za ochotu a pomoc při řešení mé bakalářské práce, zejména zaměstnancům laboratoře za poskytnutí všech potřebných výsledků.

V neposlední řadě patří největší dík celé mé rodině, za jejich trpělivost a pomoc po celou dobu mých studií.

# OBSAH

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	8
1 ÚVOD .....	9
2 TEORETICKÁ ČÁST .....	10
2.1 Základy odporového svařování .....	10
2.1.1 Elektrické teplo u odporového svařování.....	11
2.1.2 Elektrické charakteristiky odporové svářečky .....	13
2.1.3 Parametry, režimy a pracovní cykly odporového svařování.....	14
2.2 Výstupkové svařování .....	15
2.2.1 Tepelná rovnováha .....	16
2.2.2 Svařovací zdroje.....	17
2.2.3 Svařovací lisy konvenční .....	19
2.2.4 Lisy kondenzátorové a lisy velkých výkonů.....	19
2.2.5 Přípravky pro výstupkové svařování.....	20
2.3 Elektrody .....	21
2.3.1 Materiál elektrod .....	21
2.3.2 Opotřebení a životnost elektrod .....	23
2.4 Hodnocení kvality odporových svarů.....	25
2.4.1 Nedestruktivní zkoušky.....	25
2.4.2 Destruktivní zkoušky .....	26
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	29
3.1 Svařovaný díl.....	29
3.2 Ocel 22MnB5 +AS150 .....	30
3.3 Rozměry a vlastnosti svařované matice M6.....	31
3.4 Svařovací lis .....	32
3.5 Svařovací přípravek.....	34
3.6 Podavač matic.....	35
3.7 Program PQS Weld .....	36
3.8 Kontrola svaru .....	38
3.9 Metodika zkoušení, vyhodnocení výsledků .....	39
4 ZÁVĚR .....	44
Použitá literatura .....	47
Seznam příloh.....	48

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\alpha$	tepelný součinitel odporu	
$d$	průměr kontaktní plochy elektrody	[mm]
$D_z$	zatěžovatel (doba zatížení)	[%]
$F$	síla	[N]
$I$	elektrický proud	[A]
$I_2$	sekundární (svařovací) proud	[A]
$k$	transformační poměr	
$\kappa$	činitel zmenšení odporu proti odporu válce	
$P_s$	maximální svařovací výkon stroje	[kVA]
$P_2$	zdánlivý výkon stroje	[kVA]
$Q$	množství vyvinutého tepla	[J]
$\rho$	měrný odpor	[ $\Omega$ m]
$\rho_c$	celkový měrný odpor bodového svaru	[ $\Omega$ m]
$R$	činný odpor (rezistence)	[ $\Omega$ ]
$R_c$	celkový odpor	[ $\Omega$ ]
$R_d$	odpor mezi elektrodou a dílcem	[ $\Omega$ ]
$R_k$	odpor dotyku dvou kovových ploch	[ $\Omega$ ]
$R_0$	odpor prostorového vodiče, vnitřní odpor svařovaného dílce	[ $\Omega$ ]
$R_s$	odpor svaru	[ $\Omega$ ]
$t$	tloušťka jednoho plechu	[mm]
$t$	čas	[s]
$t_p$	čas přestávky	[s]
$t_s$	čas svařovacího impulsu	[s]
$T$	teplota	[°C]
$U_1$	primární napětí	[V]
$U_2$	sekundární napětí	[V]
$U_{20}$	sekundární napětí naprázdno	[V]



# 1 ÚVOD

Tématem bakalářské práce je odporové svařování matic na kalené ocelové výlisky s povrchovou vrstvou AlSi (Ocel 22MnB5 + AS150). Svařování matic probíhá na novém projektu Volvo ve firmě Benteler ČR s. r. o., na nových kondenzátorových svařovacích lisech firmy Obermark, které jsou vybavené moderním softwarem PQS-Weld pro online sledování svařovacích parametrů a vyhodnocování kvality svaru na základě průběhu jednotlivých parametrů (průběh svařovacího proudu, napětí, síly, atd.).

Předmětem teoretické části práce je problematika odporového svařování s užší specifikací na svařování výstupkové. Jsou zde uvedeny jak zdroje, které se pro tento způsob svařování používají v porovnání s kondenzátorovým výbojem, tak i stroje, kterými jsou svary prováděny. Dále jsou uvedeny druhy svařovacích elektrod, společně s materiálem a životností, která je důležitým ukazatelem pro kvalitu svaru. Kvalita provedených svarů je hodnocena předepsanými zkouškami, stanovenými pro jednotlivé druhy svařování. Experimentální část je věnována samotné aplikaci všech dosavadních znalostí na uvedený projekt Volvo ve spolupráci s firmou Benteler ČR s. r. o.

Benteler ČR s. r. o. se sídlem v Chrastavě a závody ve Stráži nad Nisou, Chrastavě, Jablonci nad Nisou, Rumburku a Liberci je významným dodavatelem podvozkových a bezpečnostních dílů pro přední výrobce osobních automobilů, jako je Škoda Auto, Volkswagen, BMW, Porsche, Volvo, Saab, Audi, Suzuki, Opel a další. Výrobním programem jsou především podvozkové díly (zadní nápravy, spodní ramena, držáky tlumičů), jakož i modul zadní nápravy, díly bezpečnostní (držák palubní desky, výztuhy sloupků karoserie, výztuhy dveří, výztuhy nárazníku) a nově motocyklové rámy pro BMW. V robotizovaných provozech používají výrobní technologie, jako jsou tavné a odporové svařování, laserové a plazmové řezání, tváření za tepla a za studena, hydroformování, třískové obrábění, lisování za studena za použití lisu o lisovací síle 3.600 t, 2.900 t a 1.000 t, lisu pro ostřih kalených výlisků a další.

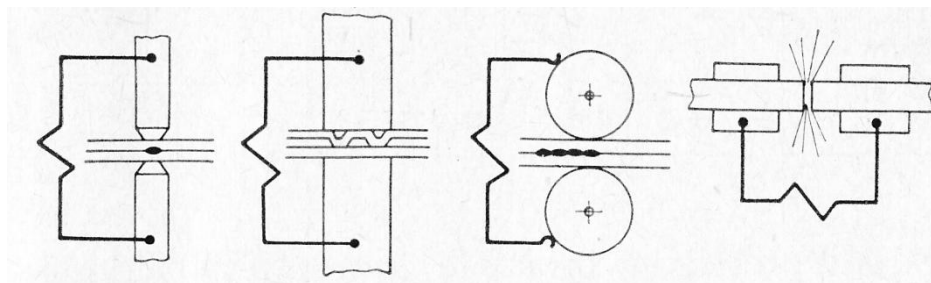
## 2 TEORETICKÁ ČÁST

Spoj je při odporovém svařování tvořen teplem a tlakem. Teplo vzniká průchodem elektrického proudu svařovanými částmi a jejich stykem za působení tlaku. Proud je do místa svařování přiváděn elektrodami, které jsou zhotoveny zpravidla z mědi či slitin mědi.

### 2.1 ZÁKLADY ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Odporové svařování je rozdělováno dle konstrukčního uspořádání elektrod a pracovních postupů podle normy ČSN EN ISO 4063 na:

- **bodové** – spoj vytvářen v podobě svarových čoček mezi přeplátovanými částmi,
- **švové** – spoj vytvářen pomocí rotujících elektrod za vzniku souvislého svaru,
- **výstupkové** – vytvoření svaru na záměrně či přirozeně vytvořených výstupcích,
- **stykové** – svařování po celé styčné ploše (obě plochy k sobě přitlačovány).



Obr. 2.1: Základní druhy odporového svařování /1/

Mezi vlastnosti odporového svařování řadíme:

- rychlost svařování (doba svařování 4ms),
- možnost vytvořit spoj bez přídavného materiálu,
- různorodost chemického složení svařovaných materiálů.

Dílce, u kterých dochází ke svařování, jsou většinou krátké a masivní (matice přivařená na A-sloupek). Což je důvodem, proč je jejich elektrický odpor tak

nízký ( $10^{-2}$  -  $10^{-5} \Omega$ ). Jejich pracovní napětí je také nízké (0,5 až 30V). Z těchto důvodů je k vytvoření dostatečného tepla potřeba velkých proudů. Řešení spočívá v použití střídavého proudu, který lze vyrábět o velké intenzitě pomocí stabilních transformátorů. Střídavý proud ovládl oblast odporového svařování i přes svou velkou nevýhodu, kterou je indukčnost vedení.

### 2.1.1 Elektrické teplo u odporového svařování

Podstatou odporového svařování je vznik tepla v místě, které bude svařováno. Toto místo musí mít co největší odpor a co nejmenší tepelné ztráty. Pracovní odpor i proud se v průběhu svařování mění. Celkové teplo je vyjádřeno vztahem:

$$Q = \int_0^t RI^2 dt \text{ [J]} \quad (2.1)$$

$R$ ...celkový činný odpor mezi elektrodami [ $\Omega$ ]

$I$ ...proud protékající elektrodami [A]

$dt$ ...diferenciál času

Odpor materiálu mezi elektrodami závisí na styčné ploše, směru průchodu proudu a měrném odporu materiálu, který prudce vzrůstá s teplotou. Svařovaný materiál dvěma elektrodami s kruhovým průřezem má odpor, který je vyjádřen vztahem:

$$R_0 = \frac{4\kappa\rho^2 t}{\pi d^2} \text{ [\Omega]} \quad (2.2)$$

$\kappa$ ...součinitel zmenšení odporu proti odporu válce

$\rho$ ...měrný odpor [ $\Omega\text{m}$ ]

$t$ ...tloušťka svařovaných plechů [mm]

Odpor mezi dvěma čistými kovovými plochami je vyjádřen vztahem:

$$R_d = \frac{\rho_c}{d} \text{ [\Omega]} \quad (2.3)$$

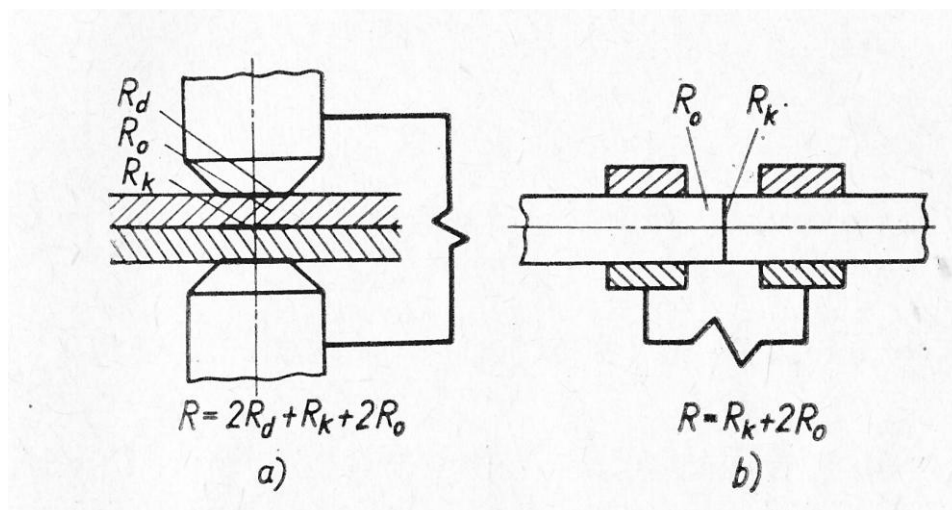
$\rho_c$ ...aritmetický průměr měrných odporů dotýkajících se kovů při dané teplotě [ $\Omega\text{m}$ ]

$d$ ...průměr styčné plochy [mm]

Průměr styčné plochy závisí na tlaku mezi plochami  $F$  a na pevnosti materiálu v tlaku, vyjádřené součinitelem. Průměr je vyjádřen vztahem:

$$d = k\sqrt{F/10} \quad (2.4)$$

$k$ ...součinitel materiálu (např.:  $k = 0,0123$  pro měď + měď; měď + měkká ocel)



Obr. 2.2: Složky odporů při bodovém a stykovém svařování /2/

Při kontaktu ve větším počtu míst se celkový tlak rozdělí na místa jednotlivá a proud prochází těmito místy paralelně. Při  $n$  dotkových místech je odpor dotyku  $\sqrt{n}$  krát menší než při jednom dotyku a stejném celkovém tlaku. Celkový odpor je zde vyjádřen vztahem:

$$R_c = \frac{\rho_c}{d} [\Omega] \quad (2.5)$$

$\rho_c$ ...celkový měrný odpor bodového svaru [ $\Omega\text{m}$ ]

Pracovní odpor je se skládá z kontaktního odporu mezi elektrodami a svařovanými dílci  $R_d$ , z vnitřního odporu svařovaných dílců  $R_o$  a z kontaktního odporu  $R_k$ . Všemi těmito složkami protéká stejný proud. Podíl jednotlivých složek pracovního odporu na celkovém teple (vzniklém mezi elektrodami) je úměrný jejich velikosti. Vnitřní odpor  $R_o$  závisí na geometrickém tvaru cesty proudu, na rozložení proudových linií ve svařovaných dílech a jejich měrném odporu  $\rho$ .

Měrný odpor  $\rho$  [ $\Omega\text{m}$ ] je nejvýznamnější vlastnost materiálu při tomto druhu svařování. Jeho velikost závisí na chemickém složení materiálu, jeho teplotě

a v menší míře i na mechanickém a tepelném zpracování. Při zvýšení teploty z  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $T\text{ }^{\circ}\text{C}$  vzrůstá měrný odpor u nemagnetických materiálů dle lineárního zákona:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha T) \quad (2.6)$$

$\alpha$ ...tepelný součinitel odporu

$\rho_0$ ...měrný odpor bodového svaru [ $\Omega\text{m}$ ]

Kontaktní odpor  $R_k$  vzniká tím, že povrch svařovaných ploch není nikdy hladký, takže se přitlačované plochy stýkají v mnoha jednotlivých, malých ploškách, jejichž velikost závisí na tloušťce, mechanických vlastnostech a stavu jejich povrchu.

Přívody musí být co nejkratší a nejtlustší, aby měly malý jak činný, tak i jalový odpor. Činný odpor  $R$  vychází z měrných odporů materiálů, které byly použity. Jalový odpor  $X$  je zase tím větší, čím jsou přívody delší, tenčí a jsou dál od sebe. Všechny složky těchto odporů svařovacího obvodu odporové svářečky se geometricky sčítají ve vektorovém diagramu.

### 2.1.2 Elektrické charakteristiky odporové svářečky

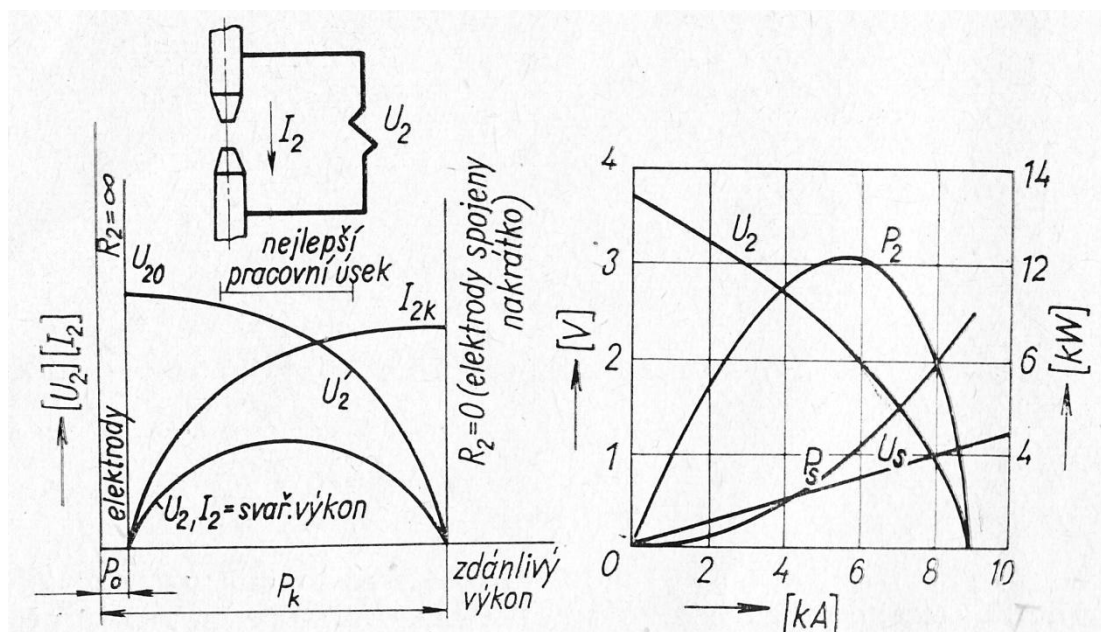
Vztah pro výpočet charakteristiky příkonu je vyjádřen zde: (jde o parabolu)

$$P_S = R_S \cdot I_2^2 \quad (2.7)$$

$R_S$ ...celkový činný odpor svaru [ $\Omega$ ]

$I_2$  ...sekundární proud [A]

U stroje se využije tím větší části nejvyššího výkonu, čím je vrchol charakteristiky výkonu blíže bodu nakrátko. Toho docílíme co nejmenším jalovým odporem stroje. Vrchol charakteristiky výkonu  $P_2$  je bodem nejvyššího výkonu, jaký může stroj mezi elektrodami dát, je-li vhodný pracovní odpor. Závislost pracovního napětí na svařovacím proudu je přímka.



Obr. 2.3: Charakteristiky odporové svařičky/3/

### 2.1.3 Parametry, režimy a pracovní cykly odporového svařování

Parametry, kterými určujeme odporové svařování, jsou operativní veličiny, které přímo působí na jakost svarového spoje. Svařovací režim je definován vzájemnou kombinací svařovacích parametrů.

**Měkký režim** je kombinací nižšího svařovacího proudu (proudová hustota do 200 A/mm<sup>2</sup>) a tlaku (do 60 N/mm<sup>2</sup>) s delším svařovacím časem (asi 25 period – 0,5 až 1,5 s).

**Tvrký režim** je opakem výše uvedeného, tj. kombinace vyšších svařovacích proudů (proudová hustota 200 - 500 A/mm<sup>2</sup>) a tlaků (více než 80 N/mm<sup>2</sup>) s kratšími svařovacími časy (3 až 8 period – 0,16 s).

**Svařovací čas  $t_s$**  je časový interval, kdy materiálem protéká svařovací proud. Je to časový interval potřebný na vytvoření úplného svaru, začínající startovacím impulsem a končící vrácením stroje do výchozí polohy bez mezičasu.

**Mezičas** neboli **čas přestávky  $t_p$**  je časový interval, který probíhá od ukončení svařovacího cyklu do začátku nového cyklu (čas mezi svařovacími cykly).

Součet svařovacího času a mezičasu je **čas pracovního cyklu**. Doba zatížení (zatěžovatel) je v procentech vyjádřený poměr součtu časových intervalů zatížení elektrického proudu ku době pracovního cyklu:

$$D_Z = \frac{t_s}{t_s + t_p} \cdot 100[\%] \quad (2.8)$$

$t_p$ ...čas přestávky [s]

$t_s$ ...čas svařovacího impulsu [s]

**Svařovací program** je předem zvolený, automatický časový průběh svařovacích parametrů, průběh jejich velikosti a vzájemné vazby, jakož i všech dalších fází během svařovacího cyklu.

Svařování pulsním proudem, tzv. **pulsní svařování**, je variantou svařování, při níž proud neprotéká plynule, ale v několika intervalech (pulsech), kde se volí doba průchodu proudu i přechody v jednotlivých intervalech.

Může se též použít při průchodu předehřívacího nebo žíhacího proudu. Řízení svahu proudu je způsob regulace svařovacího proudu, při němž buď proud postupně stoupá anebo v druhém případě postupně klesá. Svařování do stoupajícího tlaku je způsob, kde svařovací tlak stoupá během toho, co prochází svařovací proud.[1]

## 2.2 VÝSTUPKOVÉ SVAŘOVÁNÍ

Výstupkové svařování se provádí na svařovacích lisech a svařovací proces je lokalizován do míst přirozených nebo záměrně vytvořených výstupků (nazýváno též „bradavkové svařování“). Ve většině případů se svařují dílce různého tvaru, průřezu, případně i různého materiálu. Pro dosažení kvalitního spoje, musí mít svařované součásti, při průchodu svařovacího proudu, v místě spoje současně vhodnou svarovou teplotu. Oba se musí přivést do tekutého stavu. V opačném případě nastane buď spoj studený nebo se jeden z materiálů či dílců přehřeje.

### 2.2.1 Tepelná rovnováha

Svařování dvou stejných dílců u výstupkového svařování je méně časté, většinou se jedná o případy asymetrické, kde je dodržení tepelné rovnováhy mnohem složitější. Tvarová nesymetrie je pro nás nepříznivá, protože způsobuje i nesymetrii tepelnou. Těmto vlivům se dá částečně zabránit tím, že množství tepla odvedeného ze spoje je v poměru k množství tepla potřebného na vytvoření spoje co nejmenší. Toho dosáhneme rychlým průběhem procesu. Zde platí zásada, že čím je případ svařování nesymetricktější, tím tvrdší svařovací režim se použije pro nejkratší svařovací proces. Velmi tvrdé svařovací režimy jsou provázeny různými nepříjemnými průvodními jevy. Jednak jevy charakteru elektro-energetického (tvrdé rázy v síti), dále charakteru metalurgického (vysoké lokální ohřevy materiálů, explozivní výstřiky, podřezávání spoje).

Spoj se snažíme řešit tak, abychom ho nemuseli provádět za extrémních podmínek. Dosahujeme toho jednak vhodným umístěním výstupku jednoho či druhého dílce nebo upínacích čelistí, a v neposlední řadě uspořádáním elektrod, které do svařovacích dílců přivádějí proud. Při rozhodování o umístění výstupků musíme především přihlížet k tomu, že výstupky odvádějí mnohem méně tepla než rovné plochy. Proto se při svařování stejnorodých materiálů, symetrických tvarů dělají výstupky poměrně širokoúhlé, nízké se širokou základnou. Při různé tloušťce materiálů se výstupek dělá na tlustším z nich a v případě nestejnorodosti o stejné tloušťce je výstupek nejlepší u materiálu s lepší tepelnou vodivostí.

Lokálně vyvinuté teplo se z místa svaru šíří vlastním svařovaným dílcem. Odvádět se může jednak povrchem svařence do okolí, materiálem upínacích čelistí nebo do opěrných elektrod. Elektrody jsou zhotoveny z materiálů o vysoké elektrické i tepelné vodivosti. Odvod tepla do elektrody je v porovnání s odvodem do okolí mnohem větší. Jde o relativní poměr obou dílců, při posuzování tepelné rovnováhy. Tudíž nemusíme uvažovat ztráty do okolí a sledujeme pouze okamžitý stav, a to je na začátku svařovacího procesu.

Nejčastěji nastává tavení svařovaných součástí v bodě. Jsou také příklady, kde tavení začíná na hraně. Jedná-li se o přímou hranu, použijeme stejných metod, při kterých pokládáme případy za řezy rovinou kolmou k podélné ose svařovaných součástí.



Jiné případy nastávají u hran, které jsou zakřivené a většinou uzavřené, čímž odvod tepla z místa spoje bývá nesymetrický. Zde můžeme uvést např. **přivařování plného čepu na desku s otvorem**. Opět předpokládáme, že teplo je odváděno pouze stykovými plochami mezi dílci a přilehlými elektrodami. Odvod tepla ohraničují plochy tvořící pláště kuželů a válců, které vycházejí ze stykové hrany. Jestliže **přivařujeme trubku, resp. dutý čep na desku s otvorem**, nebo je teplo z horního dílce odváděno pouze mezikružím, nastávají pro tepelnou rovnováhu poměry obdobné s předcházejícím příkladem.

Tato řešení tepelné rovnováhy nejběžnějších výstupkových svarů nám dává dostatečný obraz o poměrech ve spojích, které jsou hlavním kritériem pro posouzení vhodnosti svařovaných dílců a jejich upnutí do přípravků. [1]

### 2.2.2 Svařovací zdroje

Při odporovém svařování používáme zdroje stejnosměrného i střídavého proudu a zdroje kondenzátorové. Svařovací zdroje můžeme rozdělit podle několika hledisek.

Základní rozdělení:

- s mechanickým přenosem tlaku (kusová výroba, opravy),
- s pneumatickým přenosem tlaku (sériová výroba).

Podle typu:

- s pohybem po „kružnici“,
- s výsuvnými horními i spodními rameny,
- s výsuvným horním ramenem a vyměnitelným spodním ramenem,
- s „přímočarým“ pohybem,
- svařovací lisy.

Dle elektrického napájení rozlišujeme zdroje na následující typy.

#### a) Jednofázový transformátor

Nastavení svařovacího času je ve vazbě s délkou trvání periody. Velikost primárního proudu je regulována fázovým řízením (obvykle tyristorového modulu). Stroje jsou konstrukčně velice jednoduché, přesto mají velmi široké uplatnění. Nevýhodou je však nesymetrické zatížení sítě.

#### **b) Zdroj s třífázovým transformátorem**

- s usměrněním proudu,
- bez usměrnění proudu.

Tento druh zdroje způsobuje rovnoměrné zatížení sítě. Vlivem třífázového transformátoru se snižuje potřebný výkon stroje. Typ zdroje s usměrněním proudu na sekundární straně transformátoru a regulací i spínáním proudu na straně primární má rovnoměrnější přívod energie do místa tvorby svaru. Tím se snižuje potřebný svařovací čas i svařovací proud. Vhodné použít pro svařování neželezných kovů a materiálů s vyšší elektrickou vodivostí.

Typ zdroje s usměrněním proudu na sekundární straně, spínáním a tranzistorovým řízením svařovacího proudu na sekundární straně zajišťuje velmi kvalitní řízení svařovacího procesu s délkou svařovacího pulsu 1 ms do 1500 ms. Lze využít pro odporové bodové, výstupkové i švové svařování s minimálními ztrátami.

#### **c) Středo/vysoko frekvenční invertorové svařovací zdroje**

Moderní zařízení poskytující svařovací proud s možností operačních zásahů v rozsahu ms. Řídící jednotky pracují s frekvencí 1-25 kHz a zdroje poskytují proudy do 150 kA. Vhodné pro svařování neželezných kovů a slitin, materiálů vyrobených práškovou metalurgií, materiálů s různými typy povlaků a pro svařování materiálů na elektrické kontakty. Vznikají nižší ztráty vedením tepla do svařovaného materiálu a odvodem tepla způsobeným povlakem. Kvalita svarů je vysoká vzhledem k možnosti regulace úrovně proudu na sekundární straně, rychlou regulací (dáno použitou frekvencí) a přesnému dávkování energie do místa svaru. Svařovací časy jsou kratší v porovnání s klasickými stroji s ohledem na vyšší hustoty výkonu. Životnost elektrod je delší s ohledem na kratší svařovací časy a rovnoměrnost proudového zatížení v průběhu procesu.

#### **Kondenzátorové svařovací stroje**

Kondenzátory jsou nabíjeny stabilizovaným napětím, což zaručuje přesné dávkování energie. Samotný svarový spoj se vytváří extrémně vysokým svařovacím proudem, vybitím baterie kondenzátoru přes vybíjecí transformátor. Svařovací časy jsou velmi krátké, obvykle do 100 ms a do místa svaru přivádíme jen nezbytné množství energie. [3]

### **2.2.3 Svařovací lisy konvenční**

Tyto stroje jsou v podstatě bodové svářečky s co nejmenším vyložení. Někdy se dokonce vyrábějí stroje kombinované (bodovka-lis). Zakončení sekundárního obvodu transformátoru je u lisu plochými čelistmi s upínacími drážkami, na kterých jsou upnuty a chlazené vodou, měděné jednoúčelové přípravky. Ty mají pneumatické či mechanické upínání a nožní či opět pneumatické vyhazovače. Dolní čelist je napevno, se svislým přestavením směru. Horní čelist je pohyblivá s hydraulickým či pneumatickým pohonem. Některé lisy větších výkonů umožňují i odtavovací svařování, což pomáhá ke zmenšení nárazů do sítě a zároveň se dají provést speciální práce, vhodné jinak pouze pro svářečku stykovou. Jelikož využíváme ultrakrátké časy a velké svařovací proudy musíme brát zřetel na spínací děje pro řízení strojů, které jsou prováděny výhradně elektronicky pomocí speciálních řídících skříní.

Vysoká produktivita svařovacích lisů se oproti jiným způsobům stále zvyšuje a to zejména mechanizováním vedlejších prací (plnění, upínání, vyjímání), hlavně využitím revolverových otočných přípravků. Jsou zde totiž využity velice produktivně nejdelší složky pracovního cyklu stroje, jedná se o sjíždění a vyjíždění horní čelisti, naplnění přípravku před samotným svařováním a vyjmutí hotového svaru z přípravku po procesu svařování. Dnešní stroje konají tyto operace zcela automaticky, k plnění dochází ze zásobníků a hotové svarky jsou vyhazovány do odběrových košů.

### **2.2.4 Lisy kondenzátorové a lisy velkých výkonů**

Kondenzátorové lisy pracují na stejném principu jako kondenzátorové bodové svářečky, včetně jejich předností. Kromě všech výhod energetických, z nichž vyplývají i výhody ekonomické, má tento způsob i značné výhody technologické. Zejména přísun stále stejného množství energie do svaru v přibližně stejných časech, což zaručuje stálou kvalitu svarů. Mnoho kovů vyžaduje velmi krátké svařovací časy, proto přináší kondenzátorové svařování optimální výsledky. Dále je tento způsob vhodný pro svařování materiálů s různým chemickým složením, materiálů s velmi odlišnými rozměry i tvary, také pro spoje s minimálním tepelným ovlivněním, malých deformací, dokonce může splnit požadavek vakuové těsnosti apod.

Lisy velkých výkonů jsou ekonomicky výhodné při svařování masivních předmětů v malosériové výrobě. Lisy středních výkonů mají svařovací schopnost 600-1000 mm<sup>2</sup> celkové plochy svarů při maximální hmotnosti svařovaných dílců 2-4 kg. Zvýšení těchto hranic je pro nás výhodné hlavně z důvodu ekonomického, neboť tyto větší výrobky svařené výstupkovým způsobem ve svařovacím lisu mohou nahradit složité výkovky, odlitky nebo součásti vyráběné třískovým způsobem z plného materiálu, popřípadě dílce vyráběné jinou, méně účinnou technologií svařování. Lisy velkých výkonů zvyšují hranici hmoty až na 40kg s plochou svaru do 6000 mm<sup>2</sup>. Svařené součástky se přitom skládají z jednoduchých, zejména válcovaných polotovarů. [1]

### **2.2.5 Přípravky pro výstupkové svařování**

U výstupkového svařování v lisech se pracuje s tvrdým režimem, popřípadě s nastaveným programovým průběhem tlaku a proudu během svařování. Proto musíme při navrhování přípravků dodržet určitá pravidla.

V částech přivádějících svařovací proud musí vznikat co nejméně tepla vlivem přechodných odporů, čehož dosáhneme přesným dodržením tvaru přívodních ploch udržením čistoty při provozu. Důležité je pracovat s co největším dovoleným upínacím tlakem, zmenšíme přechodný odpor a množství tepla. Chladicí kanály umísťujeme co nejblíže tepelně namáhaných plochám, nesmějí však být umístěny v částech, kde prochází elektrický proud. Z legovaných materiálů vyrábíme pouze namáhané části (vložky), zbytek se zhotovuje z mědi či bronzu. Přípravek musí umožnit snadné odstraňování svarových výronků a výstřiků.

Rozdělení podle vyvození upínací síly:

- mechanické upínání, buď pákovým ručním upínáním, nebo působením přitlačné síly svařovacího stroje, použitím samonosných čelistí,
- pneumatické upínání pomocí vzduchového válce, membrány nebo vlnovce,
- hydraulické upínání pomocí válce s použitím tlakového zdroje ze svářecího stroje či samostatným hydraulickým obvodem pro přípravek.

Přípravky pro výstupkové svařování mohou být řešeny velmi rozdílně, podle požadovaných spojů a tvarů svařovaných dílů. Některé požadavky jsou společně platné pro všechny typy. Přívodní části přípravků musí být ze zvlášť dobře elektricky vodivého materiálu, neboť musí bez větších ztrát přivést do návarových ploch v řádu deseti tisíců ampérů. Musí bezpečně upnout a zajistit polohu součástí před i během samotného svařování. Konstrukce musí odpovídat požadavkům, elektrické spojení musí nastat pouze v místě svaru, proud by měl být přiváděn nejkratší cestou, aby nenastalo nežádoucí odbočení elektrického proudu. Přípravek musí být schopen umožnit, aby svislý pohyb při stlačování součástí, avšak se nesmí změnit jejich vzájemná poloha a musíme dodržet požadovaná přesnost. Svislý pohyb nesmí být brzděn a všechny neužitečné odpory musíme snížit na minimum. [1]

## **2.3 ELEKTRODY**

Elektroda je součástí sekundárního vynutí a přichází do přímého styku se svařovaným dílcem. Hlavním úkolem je přivést do místa svaru poměrně velký svařovací proud. Nejčastějším materiálem pro výrobu elektrod je měď a její slitiny.

Ideální vlastnosti elektrod jsou:

- velká elektrická a tepelná vodivost za normálních i vyšších teplot,
- dostatečná mechanická pevnost,
- vysoká teplota měknutí,
- nízký sklon k legování svařovaným materiálem,
- odolnost proti oxidaci,
- dobrá odolnost proti otěru za vyšších teplot,
- dobrá obrobiteľnosť,
- nízké výrobní náklady.

### **2.3.1 Materiál elektrod**

Měď je základním materiálem pro výrobu elektrod. Zvýšení tvrdosti docílíme tvářením za studena, až na hodnotu 120HB. Po zvýšení teploty cca na 200 °C se tato tuhost trvale snižuje. U odporového svařování dosahují teploty elektrod na pracovní

ploše až 650 °C. Zachování tvaru při těchto podmínkách udržujeme pouze legovanou a speciálně mechanicky a tepelně zpracovanou slitinou mědi. Nejčastěji používanou legurou je chrom. Tuhost tepelně zpracovaných slitin Cu-Cr dosahujeme vytvrzováním. Tvrdost je trvalým jevem až do teplot 500 °C. Při trvalém překračování této teploty dochází k deformacím pracovní části elektrody, ve stejném případě jako u mědi nelegovaných. To je důvod, proč jednou z hlavních zásad odporového svařování je dokonalé chlazení elektrod.

Materiály elektrod jsou dle mechanických a fyzikálních vlastností tříděny do dvou skupin A, B (dle RWMA – Resistance Welder Manufacturers Association) a v nich dále do několika podskupin typů. U nás se jedná o podobný postup třídění materiálů elektrod, popsany v normě ČSN EN ISO 5182.

### **Skupina A**

- zahrnuje nejpoužívanější elektrodové materiály na bázi mědi a jejich nejrůznějších slitin,
- materiály se připravují tvářením za tepla, za studena a je možné použití i ve stavu litém.

Typ 1 – obsahuje nevytvrditelné slitiny s vysokou elektrickou vodivostí. Odlévané i kované materiály získávají konečnou pevnost a tvrdost tvářením za studena.

Typ 2 – zahrnuje vytvrditelné slitiny s vyššími mechanickými vlastnostmi než u předchozího typu. Mechanické vlastnosti jsou zlepšeny tepelným zpracováním nebo kombinací tepelného zpracování a tvářením za studena.

Typ 3 – obsahuje vytvrditelné slitiny s vyššími mechanickými vlastnostmi než u typu 2, hodnoty elektrické vodivosti jsou nižší než u typů 1 a 2.

Typ 4 – zahrnuje slitiny se specifickými vlastnostmi. Konečné vlastnosti získávají buď tepelným zpracováním či tvářením za studena.

### **Skupina B**

- zahrnuje elektrodové materiály na bázi žáruvzdorných kovů (W, Mo),
- vyráběné jsou za pomoci práškové metalurgie,
- v této skupině je celkem 6 podskupin.



Obr. 2.4: Různé druhy svařovacích elektrod z materiálu CuCrZr /4/

### 2.3.2 Opatření a životnost elektrod

Hodnocení životnosti svařovacích výstupkových elektrod pro svařování ocelových plechů, korozivzdorných ocelí či hliníku je popsáno dle normy ČSN EN ISO 8166. Trvanlivost je vlastnost, která je určena jako počet spojů svařených jedním párem elektrod aniž bychom elektrody přestavili či opravili jejich dosedací plochy. Pracovní část elektrod se v průběhu svařování postupně opotřebovává a tím se mění podmínky pro vytváření svarových spojů, zároveň i se zhoršením kvality. Ocelové plechy s povrchovou úpravou při procesu svařování metalurgicky ovlivňují pracovní plochy elektrod, což způsobuje změnu mechanických i elektrických vlastností materiálu elektrod. Zároveň dochází k mechanickému poškození pracovní plochy. Elektroda je opotřebovávána a tím klesá únosnost svarů u svařování s pevně nastavenými svařovacími parametry. Rozsah a charakter poškození povlaku plechu se mění s rostoucím opotřebením. Proto je z hlediska praxe velmi důležité znát momenty, kdy opotřebením elektrod dosáhne takového stupně, že by mohlo nastat nežádoucí snížení kvality svarů a to je ten moment, kdy je třeba elektrody opravit či vyměnit.

Definování pojmu životnost elektrody není vůbec snadné. Předpokládáme totiž stanovení jednoznačných kritérií pro hodnocení jakosti svarů, což vzhledem k různorodosti požadavků kladených na kvalitu svarů není možné. Řešením tedy je stanovit kritéria životnosti elektrod i jakost svarových spojů vždy pro konkrétní podmínky. Dalším kritériem pro životnost může být stanovení maximálního možného dovoleného zvětšení pracovní plochy elektrody, tak že proudová hustota neklesne pod hranici, která znamená vytvoření svarové čočky. Dále musíme uvažovat i vlivy dalších svařovacích parametrů jako je svařovací síla, svařovací čas či změna podmínek pro průchod elektrického proudu v důsledku nalegování či znečištění plochy elektrod. Zvláště důležité je nalegování činných ploch elektrod při svařování ocelových plechů s kovovými povlaky (např.: Zn, Al, různé slitinové povlaky). Toto nalegování elektrod kovem z povlaku vede ke ztrátě funkčnosti pracovní části elektrod, urychlení deformace průměru pracovní plochy a snížení proudové hustoty. To je důvod, proč se pevnost a průměr svarového spoje snižuje rychleji než u plechů ocelových lesklých bez povrchové úpravy.[7]

### Volba průměru elektrody

Průměr elektrod volíme dle vztahu : (pomocí empirických poznatků)

$$d = k\sqrt{s} \quad (2.9)$$

s...tloušťka plechu[mm]

k...součinitel materiálu (pro nelegovanou a pozinkovanou ocel  $k = 5,5$ ; korozivzdorná ocel  $k = 5$ , mosaz  $k = 7$ )

Při svařování rozdílných tloušťek jednotlivých materiálů se liší i odpory těchto materiálů  $R_m$ . Proto je nutné přizpůsobit i průměr pracovních ploch elektrod a tím zabránit tepelné nerovnováze ve spoji.[2]

Parametry pak volíme dle tzv. **náhradní tloušťky** materiálů:

$$s_n = (2 - 2,5)s_t \quad (2.10)$$

$s_t$ ...tloušťka tenčího plechu[mm]



## 2.4 HODNOCENÍ KVALITY ODPOROVÝCH SVARŮ

Kvalitu svarového spoje je zapotřebí posuzovat komplexně a v souladu s požadovanými vlastnostmi svařovaného dílu. Pro hodnocení kvality je nutné stanovit vhodná kritéria hodnocení. Ta by měla umožnit jednoznačné rozdělení posuzovaných svarových spojů na **vyhovující a nevyhovující**. Rozsah a způsob hodnocení kvality závisí především na účelu prováděných zkoušek a rovněž na podmínkách provozu svařovaných dílů. Kvalita výstupkových svarů se hodnotí různými nedestruktivními i destruktivními zkouškami, které objektivně postihují výsledný efekt svařovacího procesu.

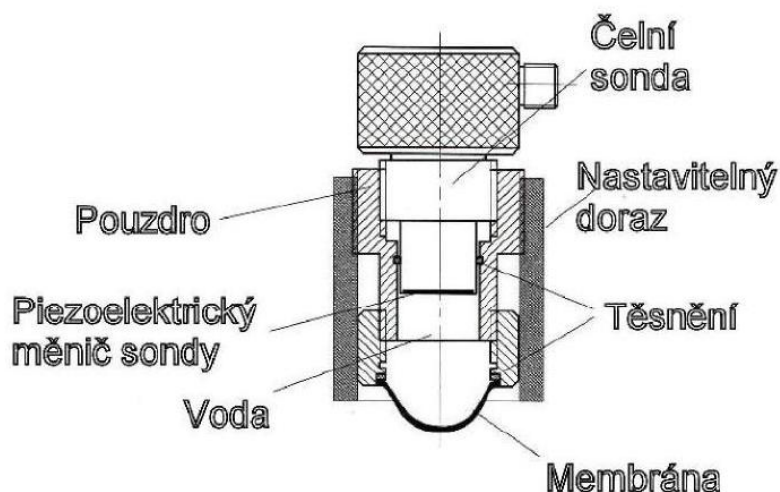
### 2.4.1 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky, jak už názvu vyplývá, umožňují posoudit kvalitu svarů bez porušení svarového spoje. Jsou pro namátkovou i stoprocentní kontrolu svarových spojů při výrobě nadměrně namáhaných či důležitých dílců v nejrůznějších odvětvích průmyslu. Nedestruktivní slouží ke zjišťování vnějších i vnitřních vad svarů a obvykle se dělí na:

- vizuální – tj. optická kontrola povrchu svaru, patří sem i kapilární metody,
- fyzikální – jako např. zkoušky magnetoinduktivní, elektroinduktivní, akustické a magnetoakustické, radiografické, ultrazvukové a dále pak metoda vířivých proudů.

Jedna z rozšířených metod nedestruktivních zkoušek nejen v automobilovém průmyslu je ultrazvuková kontrola svarů. Pro vyšetření svaru se používají čelní sondy, které lze použít na většinu párovaných plechů. Pod pojmem ultrazvuk si můžeme představit mechanické vlnění šířící se v pružném prostředí. Pružné prostředí je takové, které se vlivem mechanické síly deformuje, přičemž je deformace vratná, tj. po zániku se částice vrátí do rovnovážné polohy. Pružným prostředím může být tuhé, kapalné i plynné prostředí. Na šíření zvuku mají vliv nejen vlastnosti prostředí, ale i zvuku samotného, především jeho frekvence. Zvuk s frekvencí nad 20 kHz, který není lidským uchem slyšitelný, je označován jako ultrazvuk. Na frekvenci 100 kHz je už možné energii ultrazvuku soustředit do malého prostorového úhlu

Takovýmto svazkem je možné prozvučovat materiál a hledat v něm chyby. Takové svazky se chovají podle zákona optiky, můžou se za vhodných podmínek odrážet, ohýbat, lámat a pohlcovat. Nad 100 MHz je ultrazvuk prostředím velice tlumený a šíří se jen v krátké vzdálenosti.



Obr. 2.5: Sonda na zkoušení bodových svarů /5/

Na ultrazvukovou zkoušku má vliv nastavení přístroje, výběr ultrazvukové sondy a zkoušející personál, protože se zkouška provádí výhradně ručně, bez jakékoliv mechanizace. Ultrazvukovou zkouškou lze určit přibližný průměr svarové čočky vzhledem k známému dobrému svarovému bodu.[7]

## 2.4.2 Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky výstupkových svarů se obvykle dělí na:

- mechanické,
- metalografické,
- technologické.

## **Zkoušky mechanické**

Mechanickými zkouškami se získávají základní údaje o únosnosti svarových spojů. Tyto zkoušky se dle charakteru působení zátěžových sil dělí na statické a dynamické. V praxi se používají hlavně statické zkoušky a to z důvodu jednoduchosti provedení. Statické mechanické zkoušky se liší zejména v namáhání svaru. Mezi nejčastěji používané zkoušky pro hodnocení jakosti výstupkových svarů patří:

- zkouška tahem dle ČSN EN ISO 14272 (také smyková zkouška, či zkouška tahem ve stříhu dle ČSN EN ISO 14273),
- zkouška tahem na vytržení svaru (také zkouška tahem „kolmo“, nebo zkouška na odtržení plechů ČSN EN ISO 14270),
- zkouška kroucením.

Zkouška tahem – je nejčastěji používaná zkouška pro hodnocení jakosti výstupkových svarů. Zkušební vzorek je upnut do čelistí, které se pohybují od sebe (u zkoušky tahem) až do úplného roztržení. Zkouška se provádí na běžných trhacích strojích a stanovuje se při ní síla potřebná na porušení zkušebního tělesa a rozměry svaru po přetržení vzorku.

Zkouška tahem na vytržení svaru – při zkoušce se hodnotí maximální únosnost svaru, po provedení zkoušky se posoudí vzhled lomu a stanoví rozměr svaru. Na vytržení je svarový spoj namáhán i při křížové zkoušce.

Zkouška kroucením – používá se málo, neboť reprodukovatelnost výsledků zkoušky je obtížná. Při zkoušce se stanovuje kroucí moment potřebný na porušení spoje. Po porušení vzorku se posuzuje vzhled lomu, orientačně se určuje průměr svaru a protavení spoje.

Mezi dynamické destruktivní zkoušky patří např. zkouška bodově svařovaných spojů na únavu podle normy ČSN EN ISO 14324. [7]

## **Zkoušky metalografické**

Doplňujícím prvkem u důležitých svarových spojů mimo mechanické i technologické zkoušky jsou právě zkoušky metalografické, prováděné dle normy

ČSN EN ISO 1321. Jímí získáváme přehled o struktuře svaru a jeho přechodové oblasti, o jeho homogenitě, výskytu pórů, prasklin apod. Výbrus pro tuto zkoušku se zaměřuje na makro či mikrostrukturu spoje. U výstupkových svarů je vedení řezu pro výbrus obdobné jako u svaru bodového, a to rovinou průměru svarové čočky. Při makrovýbrusu se plocha vyhladí, vyleští a naleptá vhodným leptadlem. Při mikrovýbrusu je postup náročnější, protože musí vyleštěná plocha dosáhnout zrcadlového lesku a potom se teprve může naleptat. [1]

### **Zkoušky technologické**

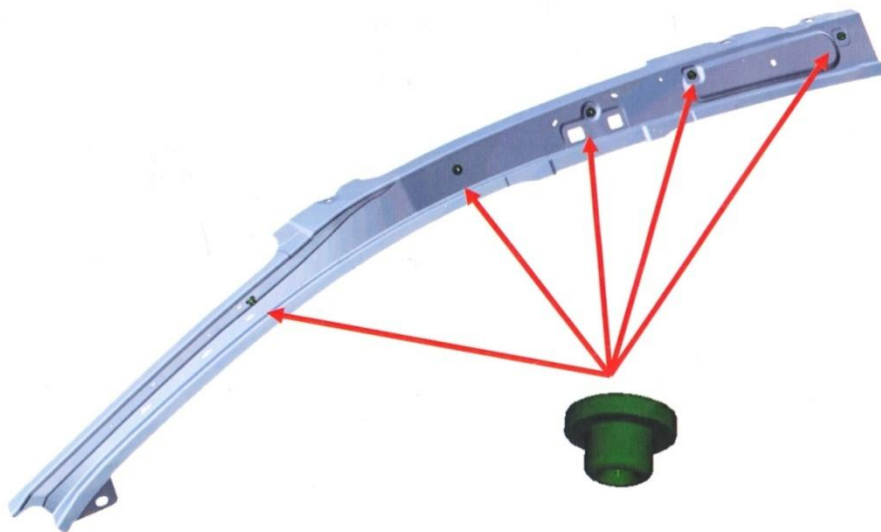
Technologické zkoušky se používají zejména pro periodickou a namátkovou kontrolu svarů ve výrobním procesu a také při seřizování svařovacího stroje. Jejich předností je jednoduchost provedení a malá časová náročnost. K nejdůležitějším technologickým zkouškám patří dílenská zkouška sekáčem a odlupovací zkouška dle ČSN EN ISO 10447. Nicméně pro výstupkové svařování se technologické zkoušky provádějí jen velmi vzácně. [1]

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato bakalářská práce se zabývá kondenzátorovým výstupkovým způsobem odporového svařování s výhodou používaným právě pro přivařování matic k vysoko-pevnostnímu plechu z oceli 22MnB5 + 150AS. Jedná se o přivaření 5 stejných matic M6 na díl A-sloupek. Jednotlivé svary jsou zkoušeny předepsanými zkouškami, v tomto případě zkouškou protlačovací a zkouškou metalografickou. Hodnocení kvality svaru zaručuje při správném nastavení svařovacích parametrů systém PQS Weld. Cílem je získání vyhovujících výsledků z jednotlivých zkoušek a následné nastavení vhodných svařovacích parametrů do systému PQS Weld. Ten je totiž nyní schopen parametry hlídat, vyhodnocovat a tím zaručit vyhovující kvalitu provedených svarů.

#### 3.1 SVAŘOVANÝ DÍL

V experimentální části se zabýváme posouzením kvality provedených svarů v konkrétním případě. V celém projektu Volvo Y555 se přivařují matice na několik různých druhů výlisků. Jedná se o A a B sloupky, které jsou složeny z několika částí. Pro názornost byl zvolen jeden z dílů, u kterého je kvalita svarů zkoumána. V našem případě se jedná o A-sloupek, který je vyráběn v páru, kde jeho pravá část je zrcadlem té levé. Na sloupek je kondenzátorovým způsobem odporového svařování přivařena do pěti různých pozic matice M6.



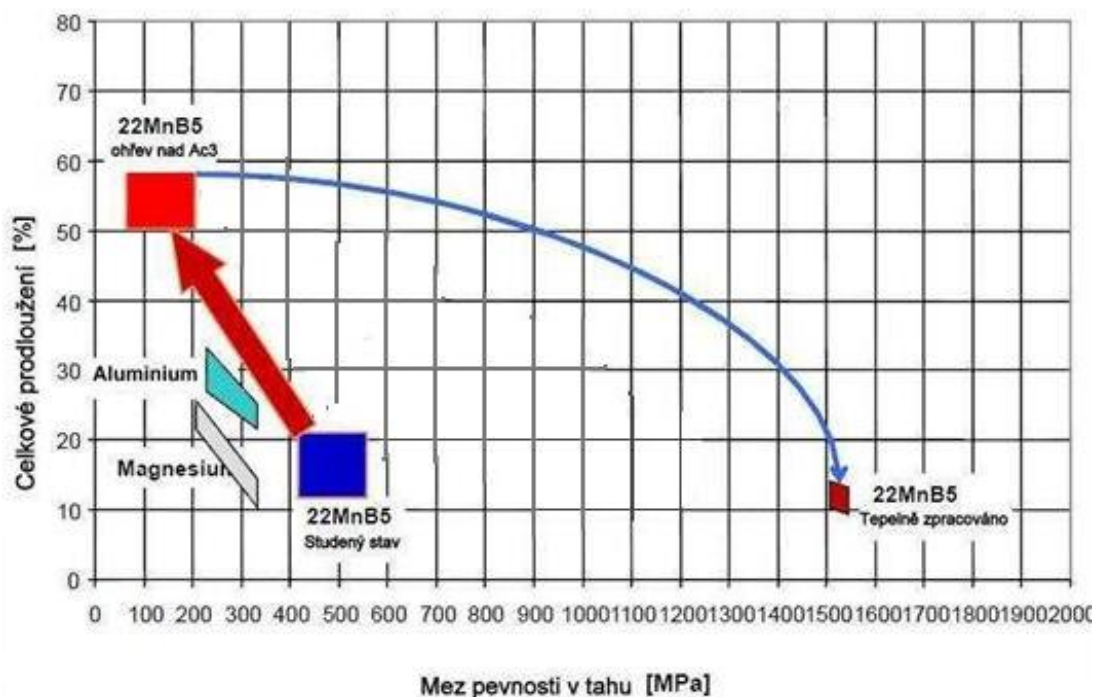
Obr. 3.1: A-sloupek s pěti přivařenými maticemi M6 /6/

### 3.2 OCEL 22MnB5 +AS150

Jedná se o ocel vhodnou ke kalení a popouštění. Má vynikající vlastnosti pro tvarování za tepla a vysokou pevnost po tepelném zpracování – kalení lisováním. Tuto vlastnost způsobuje přídavek malého množství bóru do materiálu. Díky kombinaci tvárnosti a popustitelnosti využíváme materiál v automobilovém průmyslu. Na těchto ocelích jsou kvůli omezení tvorby okují ve fázi výroby používány různé druhy povrchových úprav. Mezi nejčastěji používané vrstvy patří Al-Si, X-Tec či Zn. V našem případě se jedná o povrchovou úpravu AS150 (Al-Si). Volba záleží na následném způsobu zpracování oceli. Mez pevnosti před tepelným zpracováním (kalení lisováním) je zhruba v rozmezí 500-750 MPa, mez kluzu je větší než 350 MPa. Mikrostruktura je feriticko-perlitická. Po kalení lisováním se mez pevnosti pohybuje až na hranici 1700 MPa a výsledná mikrostruktura je čistě martenzitická.

Chemické složení oceli 22MnB5 + AS150: (max. hodnoty, uváděny v %)

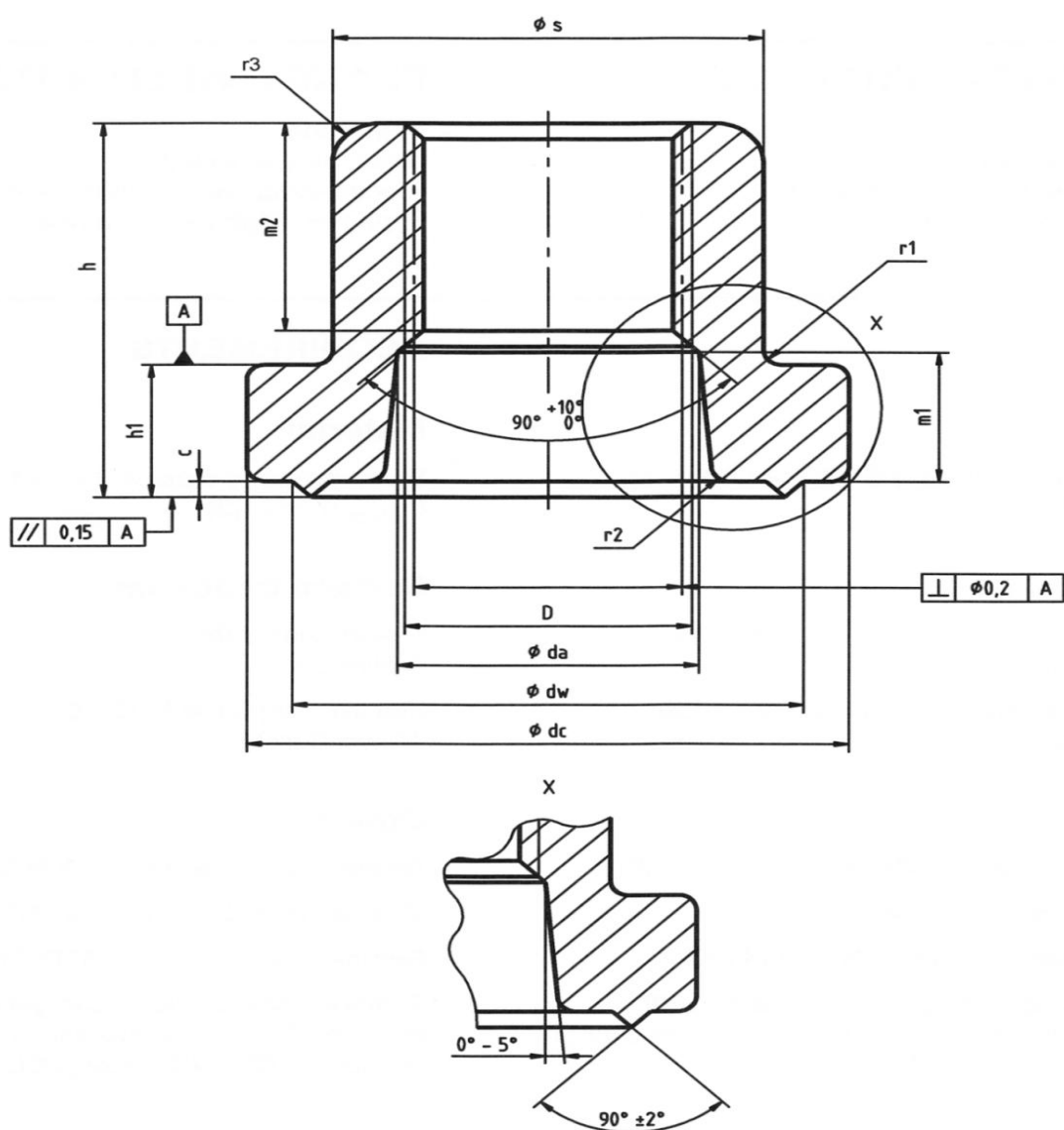
C 0,25; Si 0,4; Mn 1,4; P 0,025; S 0,01; Cr + Mo 0,5; Ti 0,05; B 0,005



Obr. 3.2: Vývoj pevnosti oceli 22 MnB5 v závislosti na tepelném zpracování/7/

### 3.3 ROZMĚRY A VLASTNOSTI SVAŘOVANÉ MATICE M6

Ocelová matice třída pevnosti 8 (min. pevnost v tahu 800 MPa) s maximálním obsahem uhlíku do 0,1% je galvanicky pokovená zinkem s minimální tloušťkou nasycení povrchu 5  $\mu\text{m}$  a následně je povrch chromátován. Galvanická pokovení zinkem slouží jako hlavní ochrana železa či oceli proti korozi. Ochrana je přímo úměrná nanesené tloušťce Zn vrstvy. Povrchová úprava chromátováním dále zlepšuje odolnost Zn vrstvy vůči korozi (koroze na Zn = bílá rez).



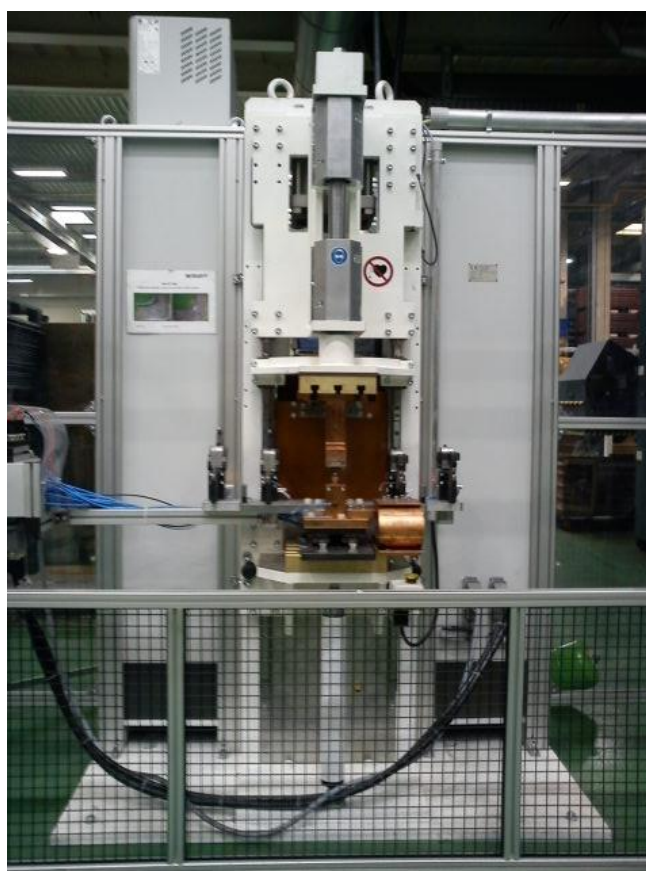
Obr. 3.3: Výkres matice M6 s tvarem prstýnku /8/

Tab. 3.1: Konstrukční rozměry matice M6 /1/

Závit D	P		c		da		dc		dw	
	stoupání		min	max	min	max	min	max	min	max
	1		0,7	0,8	6,3	6,5	15	16	11,8	12,2
M6	h	h1	m1	m2	s		r1	r2	r3	
	max	min	max	min	min	min	max	max	max	max
	10	3,3	3,75	2,75	4,8	9,5	9,7	R 0,4	R 0,5	R 2

### 3.4 SVAŘOVACÍ LIS

Pneumatický svařovací lis od firmy Obermark MidiKES12 je v našem případě použit pro výstupkové svařování matic v sériové výrobě. Lis je vybaven pneumatickými ventily pro ovládání pohyblivých částí svařovacího přípravku. Ovládání svařovacího lisu je realizováno pomocí systému SIMATIC S7-200. Nastavení veškerých svařovacích parametrů se provádí pomocí dotykového displeje PC, na kterém je zároveň nainstalován software PQS Weld.



Obr. 3.4: Svařovací kondenzátorový lis Obermark MidiKES12 /9/



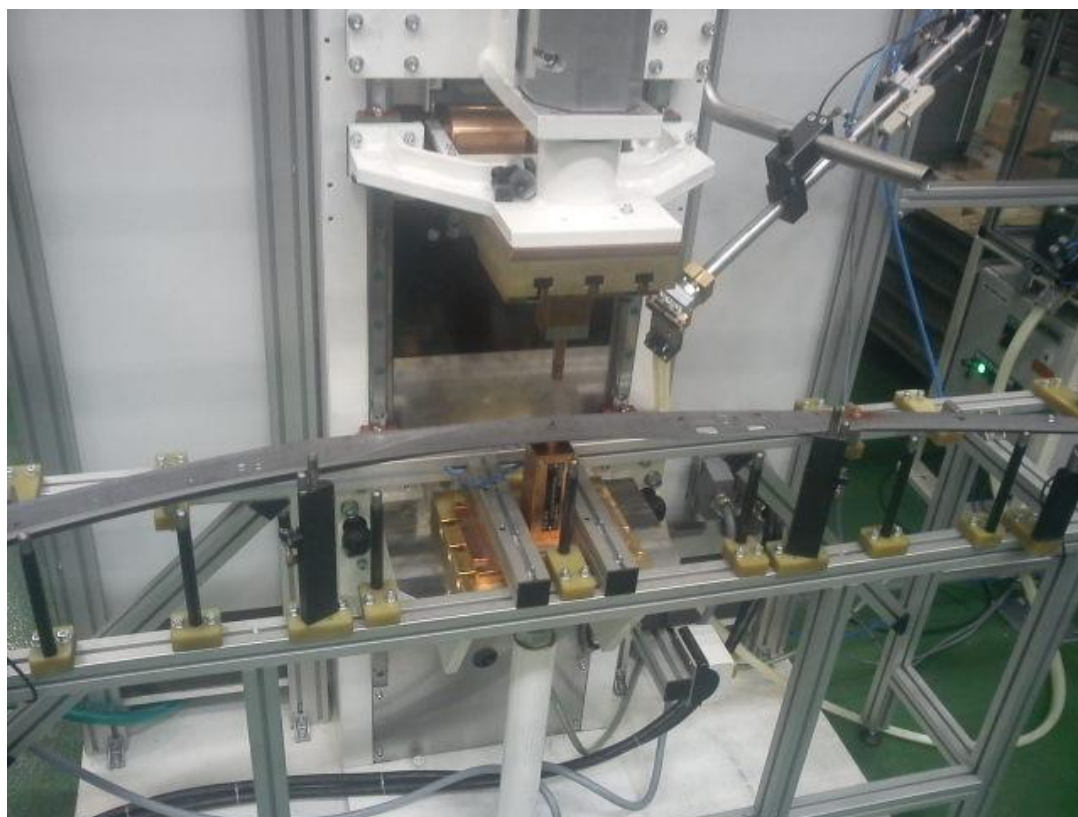
Stroj umožňuje svařování jedním či dvěma pulzy. Přítlačná síla je vyvozena beranem lisu s pneumatickým válcem, který je řízen proporcionálním ventilem, zajišťujícím plynulé nastavení přítlačné síly. Kontrola nastavení přítlačné síly je sledována silovým senzorem. Ke svaření dochází za velice krátkou dobu (4 ms) a vysokým proudem, díky čemuž dochází k velkým rozstříkům. Abychom dosáhli dobrého závaru matice, je nutné vybavit stroj nebo přípravek odpružením svařovací hlavy, které zajistí okamžité dotlačení matice k dílu, díky čemuž nedojde k úniku roztaveného kovu a vytvoření „studeného“ spoje. Elektrické a mechanické parametry, konstrukční řešení a technické vybavení zaručují vysokou kvalitu a produktivitu při svařování a umožňují vykonávání i velmi náročných prací.

Tab. 3.2: Elektro-energetické a rozměrové parametry lisu Obermark MidiKES12 /2/

Parametr	MidiKES12	Jednotky
Max. energie	12000	J
Max. přítlačná síla elektrod (6 bar)	19	kN
Max. sekundární napětí	45	V
Max. svařovací proud nakrátko	140	kA
Napájecí zdroj	40	kVA
Hlavní pojistka	63	A
Max. počet svařovacích cyklů	35	1/min
Vyložení ramen	250	mm
Rozevření ramen	350-450	mm
Max. zdvih svařovacího válce	100	mm
Výška	2600	mm
Šířka	1600	mm
Hloubka	1500	mm
Váha	3200	kg
Šířka pólové desky	250	mm
Hloubka pólové desky	300	mm

### 3.5 SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK

Svařovací přípravek se v našem případě skládá z horní a spodní elektrody (vyrobené z CuCrZr) a rámu z hliníkových profilů, který je osazen podpěrami, středícími kolíky a čidly pro kontrolu přítomnosti dílu. Přípravek je zhotovován z důvodu nasazení do sériové výroby, v tomto případě je vyroben jako více-operační. Matice jsou na díle přivařeny na pěti různých místech a zároveň se jedná o párový díl. Středící kolíky nám zajišťují přesné umístění výlisku do kterékoliv z pozic, kde bude následně jedna z matic přivařena. Rám je kvůli lepší manipulaci vyroben z hliníku a na něm jsou do daných pozic umístěny středící kolíky. Ty zajišťují přesné ustavení dílu ve svařovacím lisu. Jelikož musí dojít vždy k určení správné svařovací pozice je přípravek v každé poloze vybaven senzorem, na přítomnost dílu. Na svařovací přípravky lze doplnit kontrolu přítomnosti matice – kontrola je prováděna těsně před svarem a v případě nepřítomnosti matice, popřípadě její otočení výstupky nahoru nebude svar proveden. Je samozřejmostí, že konstrukci a výrobu těchto svařovacích přípravků lze přizpůsobit na svařovací lis od libovolného výrobce.



Obr. 3.5: Ustavovací přípravek dodaný firmou Design weld /10/

### 3.6 PODAVAČ MATIC

Podavače slouží k přesnému automatickému podávání matice na příslušné svařovací místo. Chod podavačů matic je synchronizován pomocí programu řídicího systému SIMATIC S7-200. Matice je podána v jednom kroku. Každý podavač matic je určen výhradně pro podávání konkrétních typů matic. Orientace matic je zajištěna pomocí vibračního zásobníku a dále je přes dávkovač dopravována transportní hadicí pomocí tlakového vzduchu do pneumaticky ovládané podávací hlavy, která provádí vlastní podání matice na příslušné svařovací místo. Velikost pracovního zdvihu pneumatického válce podávací jehly je konstantní a při konstrukci a výrobě je přizpůsobena danému svařovacímu pracovišti.



Obr. 3.6: Podavač matic dodaný firmou Design Weld /11/

### 3.7 PROGRAM PQS WELD

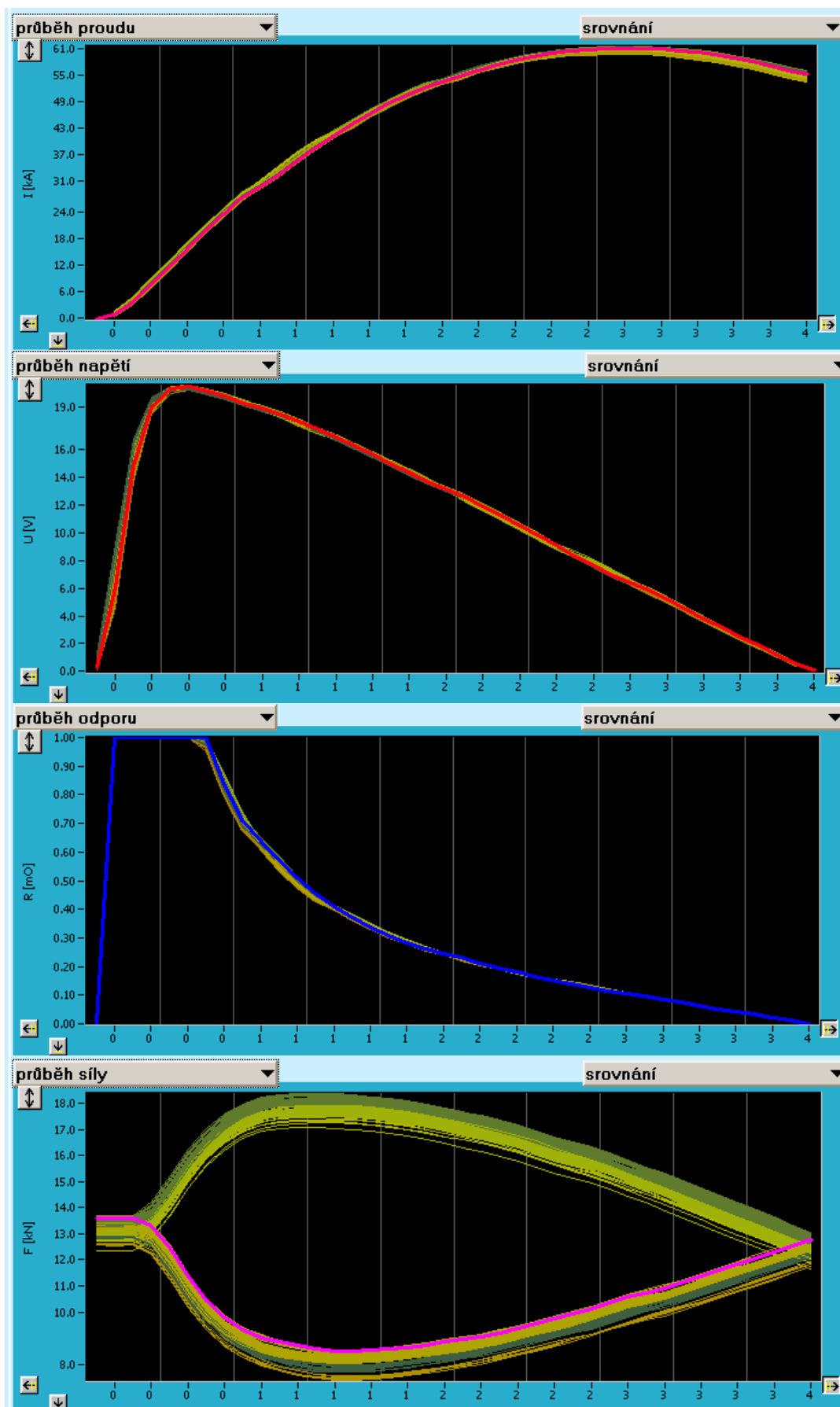
Všechny součásti svařovacího systému PQS Weld byly dodány německou firmou HARMS+WENDE QST GmbH, která se zabývá monitorováním svařovacích a spojovacích procesů. Samotný program PQS Weld slouží k monitorování, zaznamenávání a následném vyhodnocování svařovacích parametrů. Hlavní předností systému je zaručení předepsané jakosti svarového spoje.

Maximální flexibilitu a nezávislost připojení PQS Weld systému poskytují univerzální měřicí moduly řady MM QUADRIGO. Bez nutnosti větších prostor je navržen jako instalační modul, který může být umístěn do již existujících rozvaděčů. Hodnocení kvality zajišťuje cílený odběr vzorků, které jsou zkoušeny předepsanými destruktivními zkouškami. Všechny výsledky měření lze v programu PQS Weld ukládat, přiřadit jej k určitému dílu a k dané svařovací pozici. PQS Weld trvale sleduje všechna analogová procesní data, jako např. proud, napětí, odpor, přítlačnou sílu a dráhu sjetí beranu (signální křivky). Všechna procesní data monitorovaná v PQS Weld jsou tak trvale k dispozici. Automatické shlukování dat zajišťuje inteligentní technologie Q-SAVE.

Charakteristika signálů všech proměnných (proud, napětí, odpor, síla) je stále zaznamenávána a její rozptyl během procesu je znázorněn v grafech. V případě odchylky, kteréhokoliv ze sledovaných parametrů z vymezených hranic je zastaven proces a díl následně obsluhou zablokován. Na konci každé směny jsou blokové díly podrobeny destruktivním zkouškám. Na jejich základě se dané průběhy parametrů značí buď za přijatelné či nepřijatelné. Tímto způsobem dochází k rozšiřování hranic průběhů parametrů (mezních křivek). Díky čemuž je možné snížit frekvenci odběru vzorků na destruktivní zkoušky a tím snižovat podíl technologického odpadu.

Procesní data zaznamenávaná systémem PQS Weld jsou: (znázorněny v grafech)

- proud,
- napětí,
- odpor,
- přítlačná síla,
- dráha sjetí beranu.



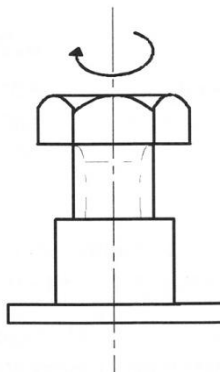
Obr. 3.7, 3.8, 3.9, 3.10: Grafy procesních dat systému PQS Weld /12,13,14,15/  
(vodorovná osa znázorňuje průběh svařovacího času v ms)

### 3.8 KONTROLA SVARU

U matic s prstencovým výstupkem by mělo být nejméně 70% celého obvodu prstence plně svařeno. Po svaření by matice měla být v úplném kontaktu s plechem. Kontrola může být provedena několika zkouškami. V našem případě se jedná pouze o zkoušky destruktivní, které předepisuje interní norma firmy Benteler ČR s. r. o.

#### **Zkouška kroutícím momentem**

V podstatě jde o zjištění správného upevnění svařené matice, což se zjišťuje kontrolou kroutícího momentu za pomoci klíče. V našem případě, pro matici M6, je stanovena hodnota minimálního kroutícího momentu na 11,5 Nm. Například pro matici M8 se hodnota zvýší na 28 Nm. V našem případě se metoda za použití klíče nedá provést. Musí dojít k našroubování šroubu do matice, který musí svou hlavou celou matici překrývat. Následné zkoušení je prováděno na šroubu. Jelikož dojde k porušení Zn vrstvy na matici, svařovaný díl je ihned po zkoušce vyhozen, když se může zdát jako vyhovující a bez porušení. Pro matice s prstencovým výstupkem je vhodnější použít zkoušku protlačení.

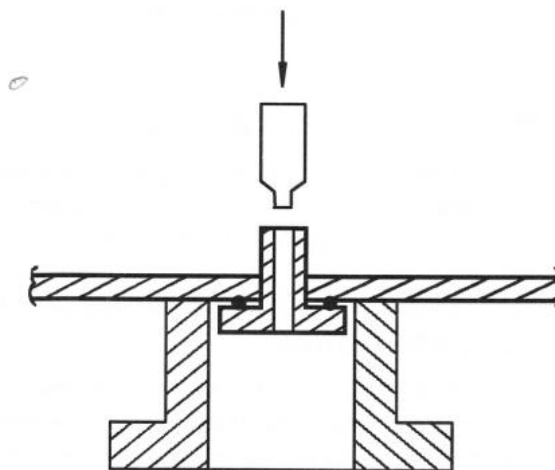


Obr. 3.11: Schéma našroubovaného šroubu v matice při zkoušce kroucením /16/

#### **Zkouška protlačováním**

Zde se jedná o ověření správného přivaření matice pomocí tlakové síly. Pro matici M6 je stanovena minimální tlaková síla 1800 N. Destruktivní zkoušení spočívá

v úplném vytržení matice z plechu tlakovou silou. Zařízení, kterým se zkouška provádí, by mělo mít podobu nástroje s kolíkem. Kolík je pro různé velikosti matic jinak velký.



Obr. 3.12: Schéma průběhu zkoušky protlačovací /17/

### 3.9 METODIKA ZKOUŠENÍ, VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Je výrobní dávka 300 kusů určená k ověření stability procesu. Z této dávky se vybere statistický vzorek 7 kusů, z nichž 5 se vyhodnotí zkouškou protlačením a u 2 se provede makrovýbrus. Přesný počet a pořadí zkoušených dílů je popsán v interní normě firmy Benteler ČR s.r.o. Na základě výsledků programu 300 jsou uvolňovány procesní parametry. Pořadí zkoušených dílů je vybíráno v následujícím pořadí:

1., 15., 50., 150., 300. kus – je určen pro zkoušku protlačování

25., 225. kus – je určen pro makro-výbrusy

Výsledky a hodnocení minimální dovolené protlačovací síly, stanovené na základě požadavků uvedených v interních normách pro destrukční zkoušku protlačováním jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3.3: Výsledky naměřených hodnot protlačovací síly /3/

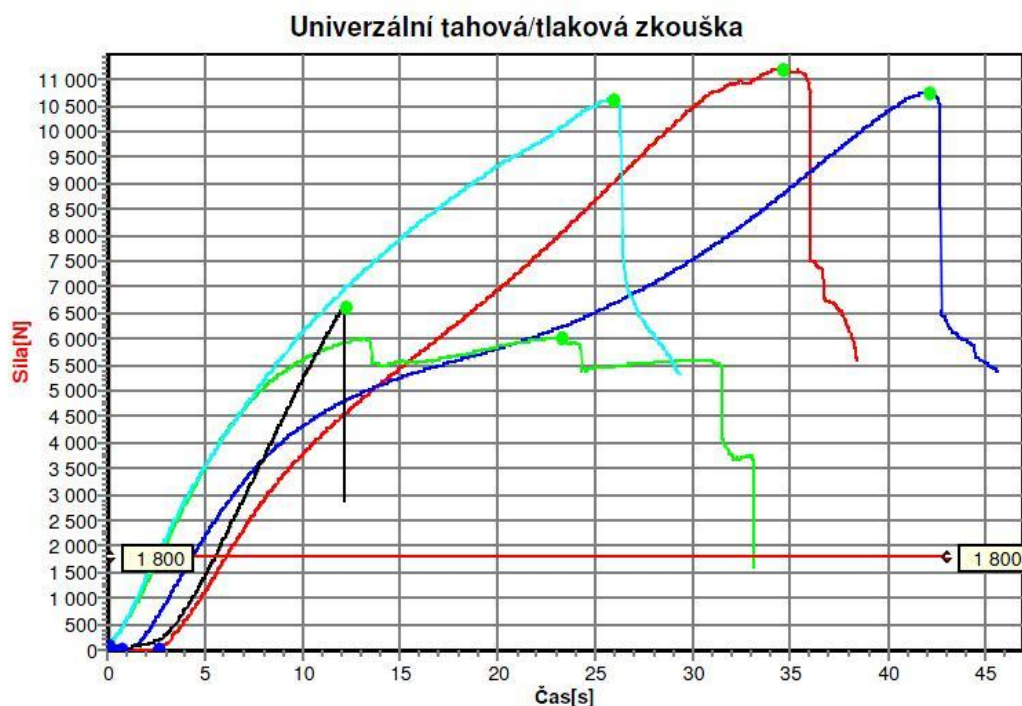
Min. dovolená tlaková síla: 1,8 kN			
Č. dílu	Č. matice	Max. síla	Hodnocení
1	1	11,21	OK
	2	10,76	OK
	3	6,03	OK
	4	10,63	OK
	5	6,63	OK
15	1	10,85	OK
	2	10,8	OK
	3	10,52	OK
	4	5,89	OK
	5	5,17	OK
50	1	11	OK
	2	9,96	OK
	3	10,02	OK
	4	10,21	OK
	5	6,38	OK
150	1	10,78	OK
	2	10,69	OK
	3	10,07	OK
	4	11,03	OK
	5	3,64	OK
300	1	11	OK
	2	10,92	OK
	3	9,59	OK
	4	10,58	OK
	5	5,5	OK

Výsledné naměřené maximální tlakové síly dosáhly takové hodnoty, že byly označeny jako vyhovující, v některých případech byla hodnota až pěti násobek minimální dovolené tlakové síly. U matice, která je označena č. 5, pozorujeme menší pokles maximální hodnoty, přesto je několikrát vyšší než hodnota dovolená.



### Zkušební parametry

Zkušební norma:	Univerzální tahová/tlaková zkouška
Typ stroje:	TT 28250 E12
Snímač síly:	250 kN
Kriterium ukončení zkoušky:	dF = 50 %

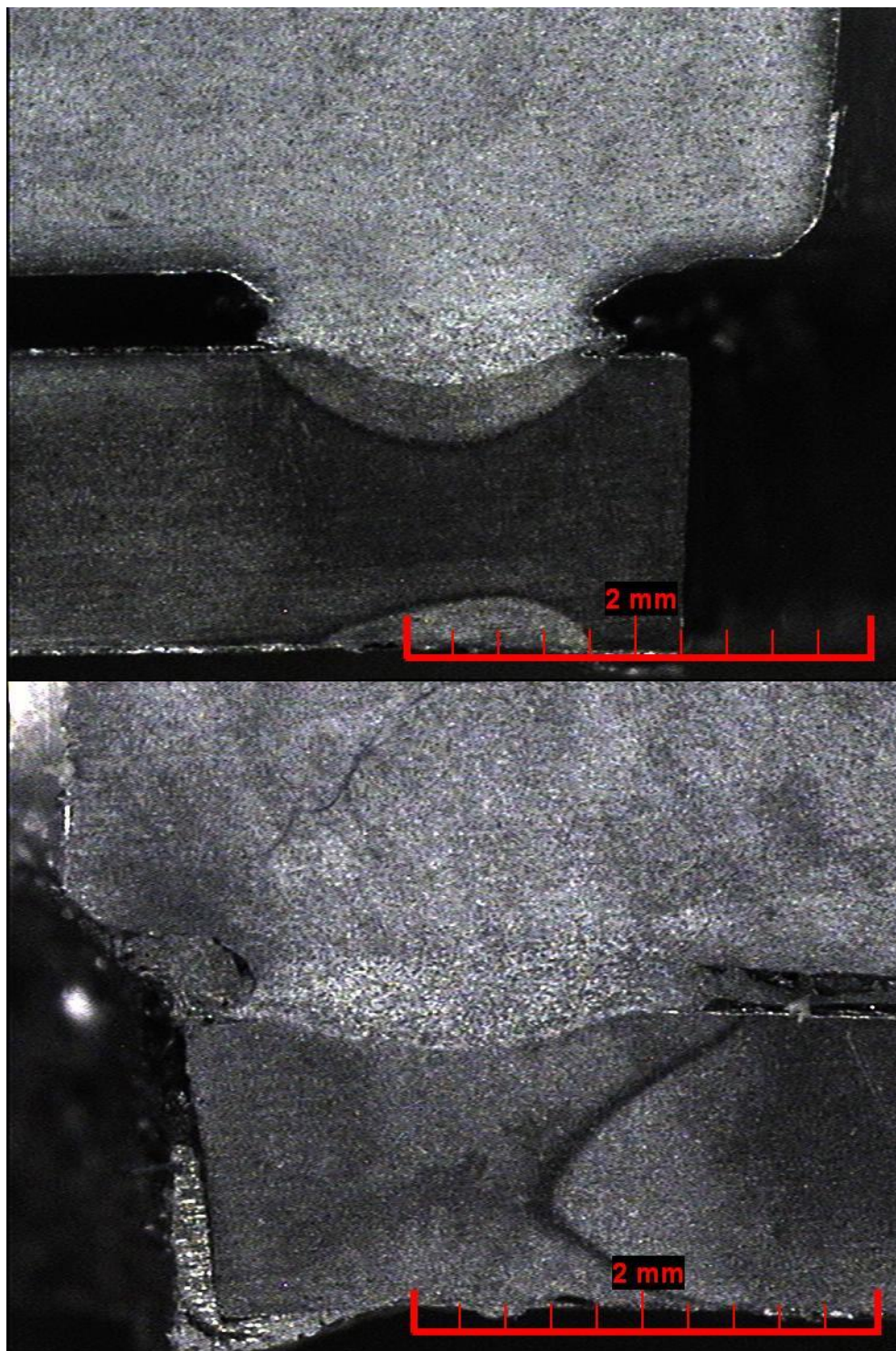


Obr. 3.11: Univerzální tahová zkouška u dílu označeného č. 1 /18/

Následující destruktivní zkouška makroskopickou kontrolou svaru byla provedena dle interních předpisů firmy Benteler s. r. o., u 25. a 225. kusu. Účelem makroskopické zkoušky je stanovení charakteristických znaků, podle kterých se určuje kvalita svaru. V našem případě se jedná o trhliny, praskání, dutiny, vměstky, studený spoj či tepelně ovlivněnou oblast.

Výsledné makroskopické výbrusy nebyly shledány za hodnocení schopné. Jedním z důvodů bylo dostatečně neprokazatelné provaření a promísení jednotlivých svařovaných částí. Z tohoto důvodu makrovýbrusy slouží pouze jako orientační ukazatel kvality provedených svarů a dále bude prováděna pouze zkouška protlačovací.

Na následujících obrázcích jsou uvedeny příklady jednotlivých makrovýbrusů, provedených v laboratořích firmy.



Obr. 3.12, 3.13: Metalurgické výbrusy 25. kusu, matice označené č. 5 /19, 20/

V poslední tabulce jsou uvedeny nastavené svařovací parametry, při nichž dochází k vytvoření svaru s vyhovujícími výsledky jak pro zkoušku protlačováním, tak i z hlediska metalografického výbrusu.

Tab. 3.4: Nastavené svařovací parametry pro tento díl /4/

Efektivní hodnota odporu	0,496	mO
Efektivní hodnota napětí	13	V
Efektivní hodnota proudu	47,9	kA
Střed síly	9,9	kN
Střed dráhy	84	mm
Doba svařování	4	ms

Prvotní nastavení svařovacích parametrů se dá provést dvěma způsoby. Prvním způsobem je řešení parametrů s dodavatelskou firmou, která společně se svařovacím systémem dodá vyhovující parametry pro zadaný projekt. Nebo v opačném případě dochází k určení parametrů metodou pokusu. V první fázi jsou zadány základní parametry vycházející ze zkušeností s kondenzátorovým odporovým svařováním matic na vysoko-pevnostní plechy. Po vyhodnocení zkoušek je zjištěna kvalita svaru. Ta je buď vyhovující, v tom případě se parametry můžou dále používat pro celou výrobu. V opačném případě se nastavení vyladuje do té doby, dokud nejsou zkouškami svary vyhodnocené jako vyhovující. V našem případě se jedná o zadání parametrů ze zkušeností s tímto typem svařování a následném seřízení do vyhovujícího stavu.

## 4 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo ve spolupráci s firmou Benteler s. r. o. zajistit kvalitu provedených svarů v projektu Volvo s využitím systému PQS weld. Matice se odporovým způsobem svařují s kalenými ocelovými výlisky s povrchovou úpravou, kterou výhodou kondenzátorového způsobu svařování při procesu snadno odstraníme. Interní předpisy firmy Benteler s. r. o. v těchto případech kondenzátorový způsob dokonce předepisují, jako jediný možný.

Výsledky ze zkoušky protlačováním, která byla zvolena jako jediný ukazatel pro hodnocení kvality svaru, byly ve všech zvolených případech vyhodnoceny jako vyhovující. Minimální hodnota protlačovací síly je stanovena na 1,8 kN a výsledné hodnoty byly měřením zjištěny až na pětinašobek této dovolené. Z tohoto důvodu byly všechny provedené svary vyhodnoceny jako vyhovující, tím pádem se systém PQS Weld může nasadit do sériové výroby a tím snížit náklady na výrobu.

Zkoušky byly prováděny pro jeden z dílů, konkrétně A-sloupek. Celý projekt Volvo je tvořen několika díly A-sloupků a B-sloupků, proto z výsledků experimentů můžeme metodou zjištění svařovacích parametrů a zadáním vyhovujících výsledků ze zkoušek protlačováním do systému PQS Weld, zajistit stálou kontrolu nad kvalitou svarů prováděných u všech dílů.

### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje Zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

25. 5. 2012

Podpis

### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

25. 5. 2012

Signature

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Plíva, L.: Odporové svařování, SNTL Praha, 1975
- [2] Neumann, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohliníkováných ocelových plechů, disertační práce, Liberec, 1990, Fakulta strojní VŠST
- [3] Kolařík, L.: Presentace svařování elektrickým odporem, ČVUT – FS – Ústav strojírenské technologie, Praha, 2010 URL: [u12133.fsid.cvut.cz](http://u12133.fsid.cvut.cz)
- [4] Interní zdroje Benteler ČR s. r. o.
- [5] Interní zdroje HARMS+WENDE QST GmbH
- [6] Interní zdroje Design Weld s. r. o.
- [7] Kaska, M.: Vybrané aspekty hodnocení kvality odporových bodových svarů ocelových plechů v automobilovém průmyslu, bakalářská práce, Liberec, 2006, Fakulta strojní, TU v Liberci
- [8] Lichorobiec, V.: Vliv vodíku na pevnost a svařitelnost vysokopevných martenzitických ocelí pro automobilové aplikace, bakalářská práce, Pardubice, 2010, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice
- [9] ČSN EN ISO 8166: Odporové svařování – způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje, Český normalizační institut, 2004
- [10] ČSN EN ISO 5182: Odporové svařování – materiály pro elektrody a pomocné vybavení, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [11] ČSN EN 1321: Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů, Český normalizační institut, 1998
- [12] ČSN EN ISO 14272: Rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů, Český normalizační institut, 2003

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Výsledky z univerzální tahové/tlakové zkoušky

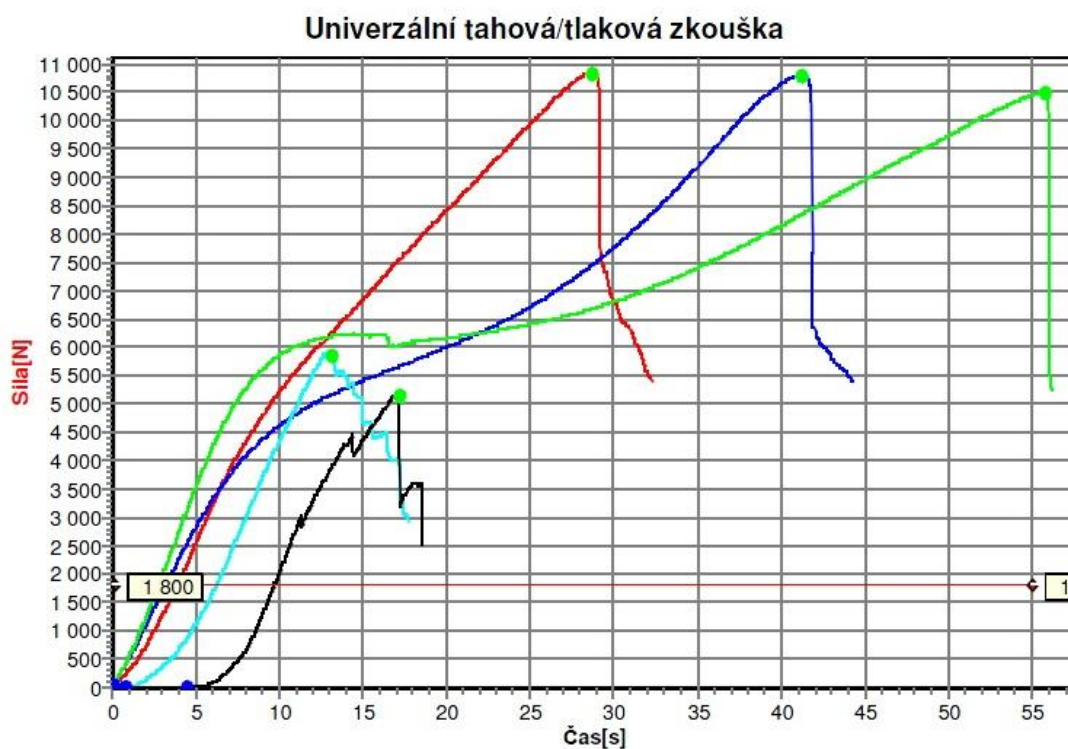
Příloha č. 2: Zařízení pro univerzální tahovou/tlakovou zkoušku typ TT 28250 E12

Příloha č. 3: Metalografické výbrusy jednotlivých vzorků

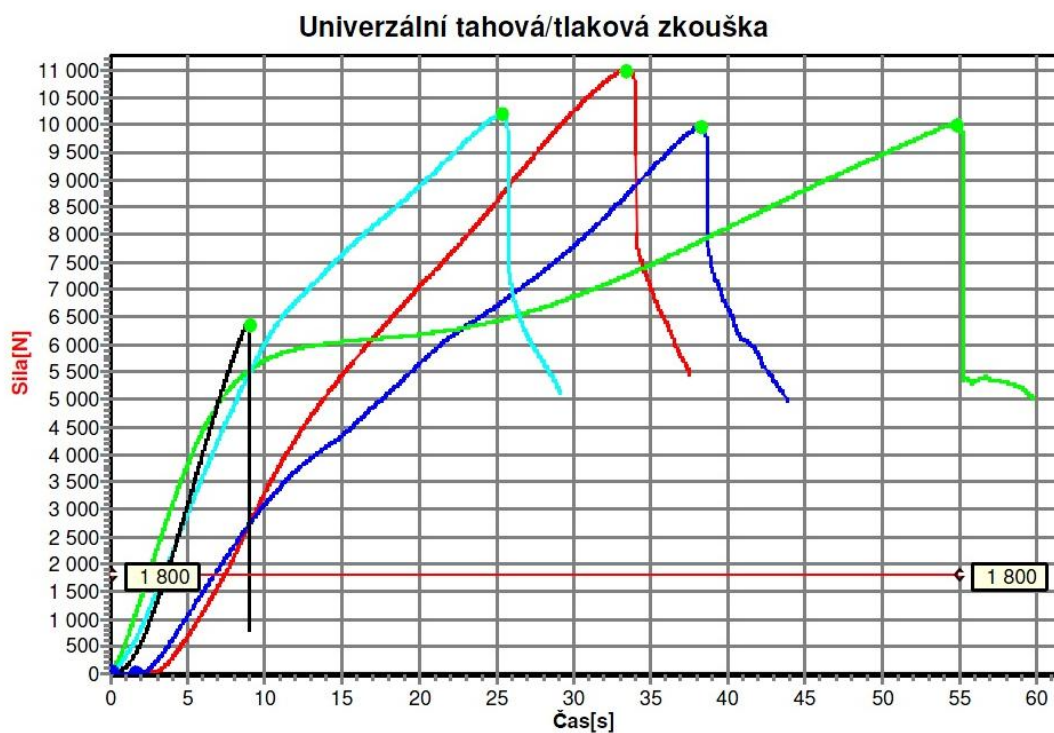


Příloha č. 1: Výsledky z univerzální tahové/tlakové zkoušky

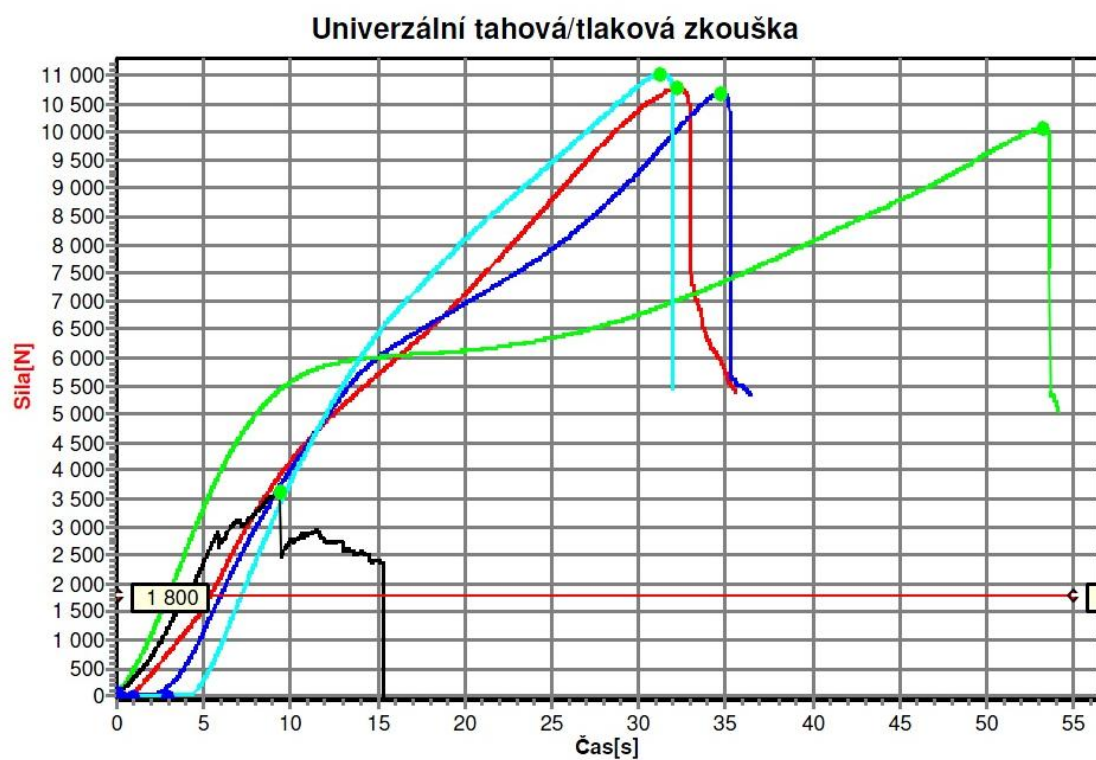
- díl č. 15



- díl č. 50



- díl č. 150



- díl č. 300



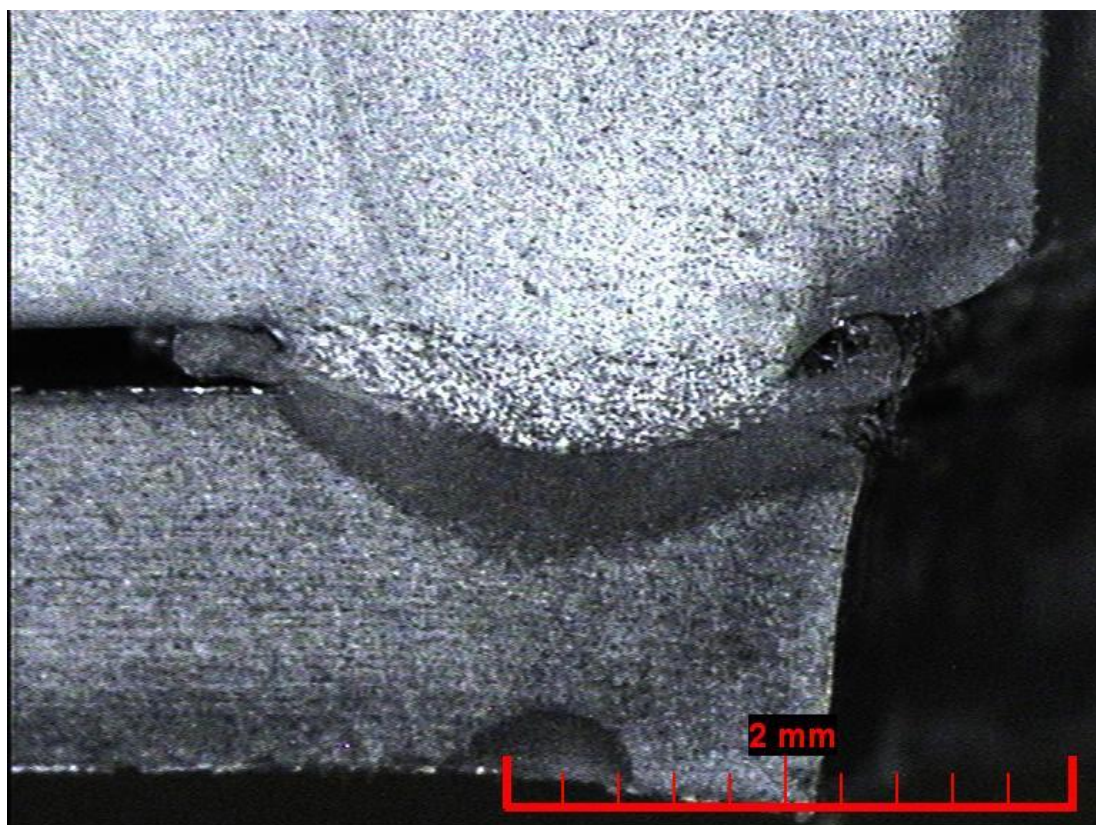
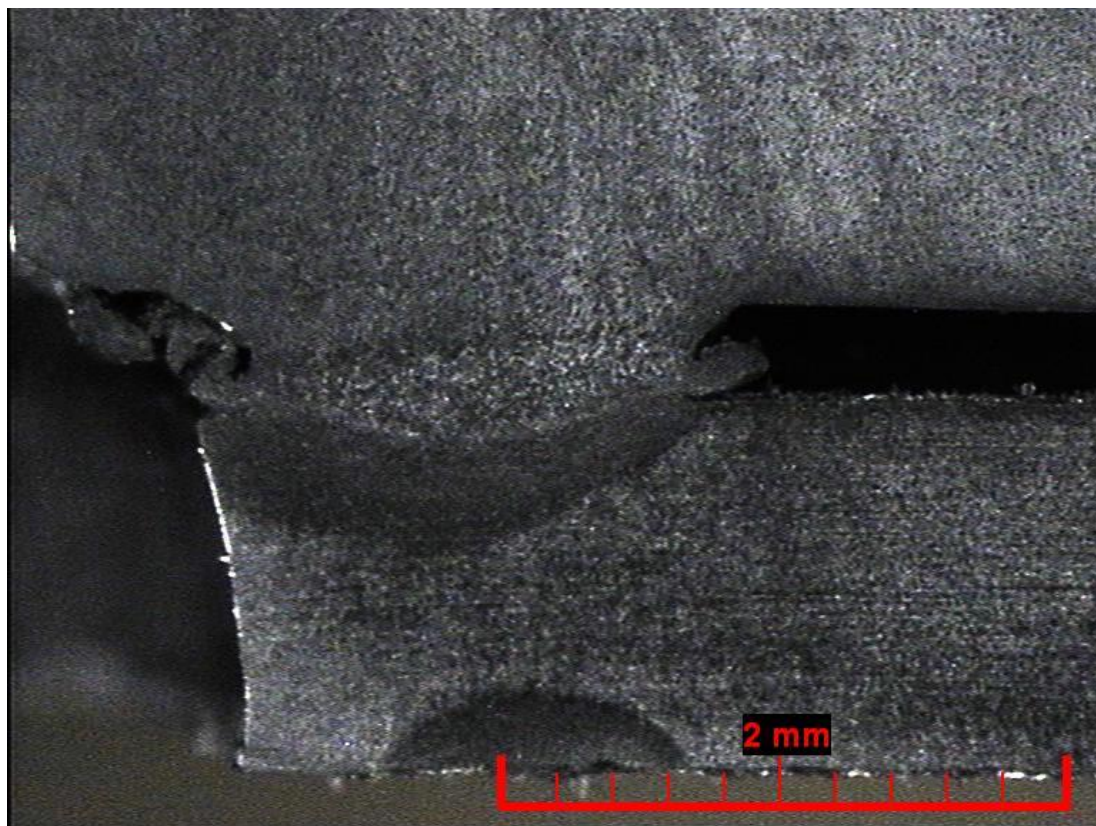
Příloha č. 2: Zařízení pro univerzální tahovou/tlakovou zkoušku typ TT 28250 E12





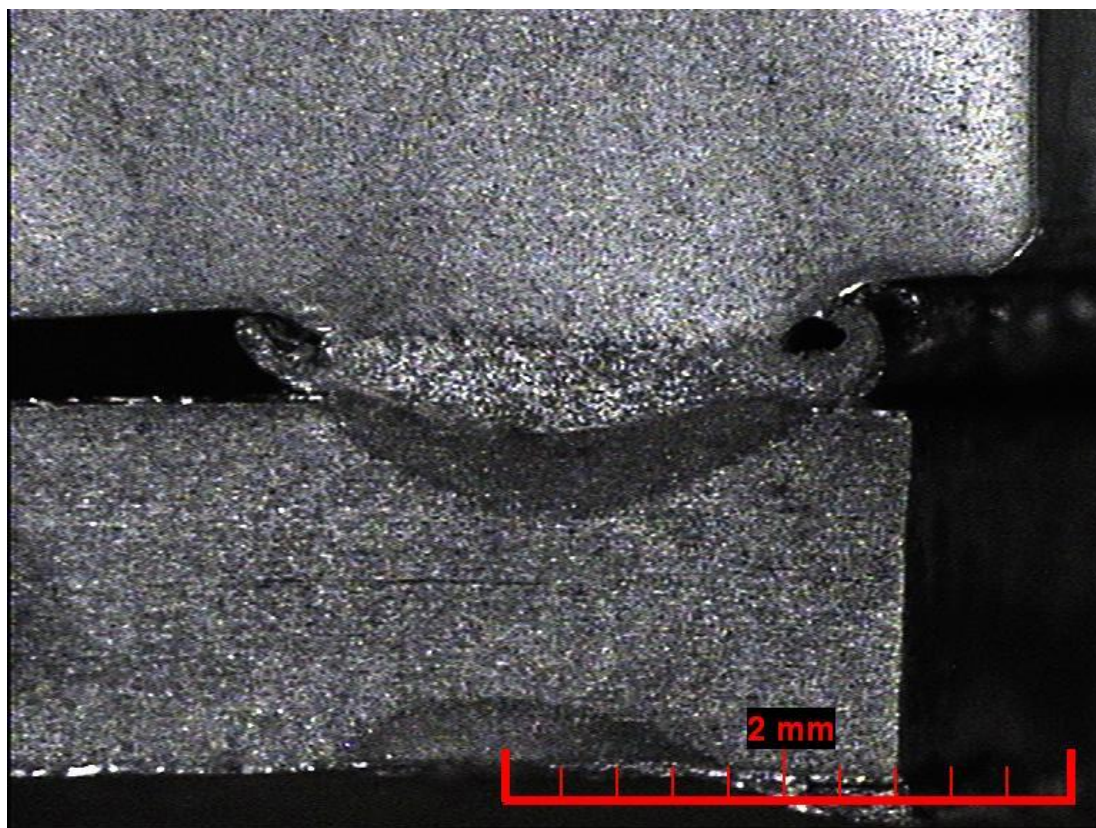
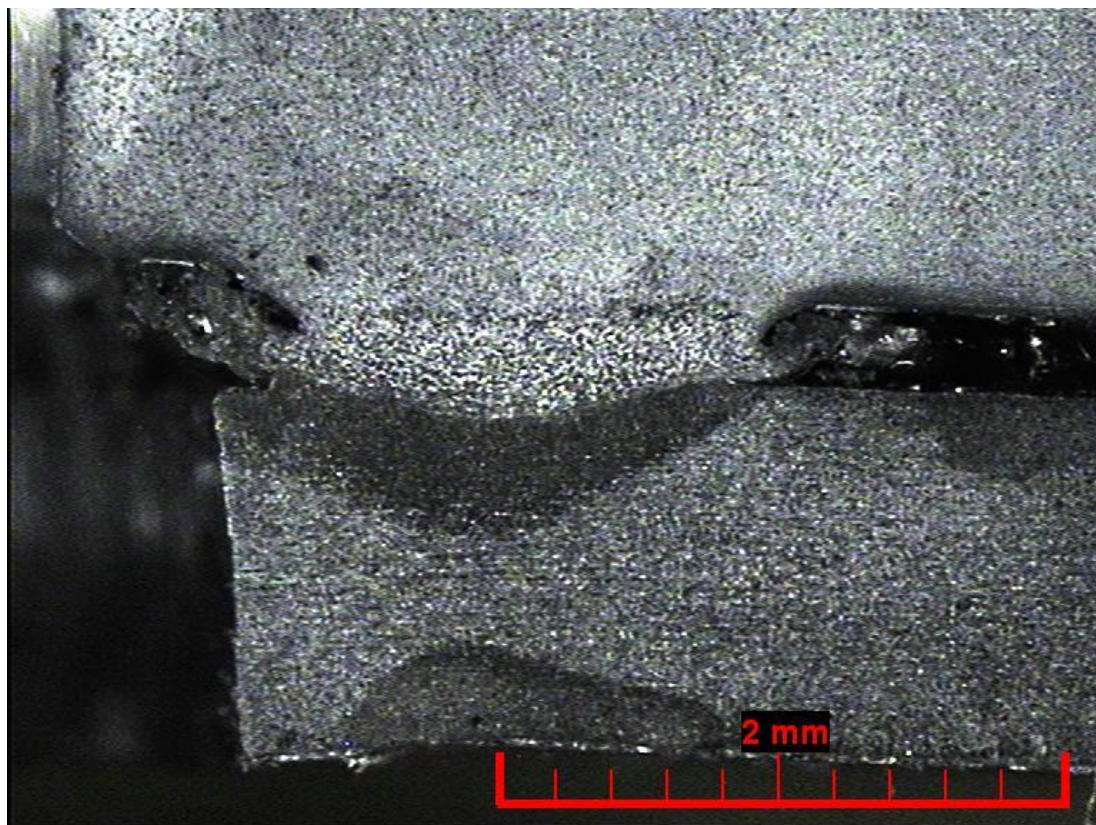
Příloha č. 3: Metalografické výbrusy pro 25. díl

- matice označená č. 1



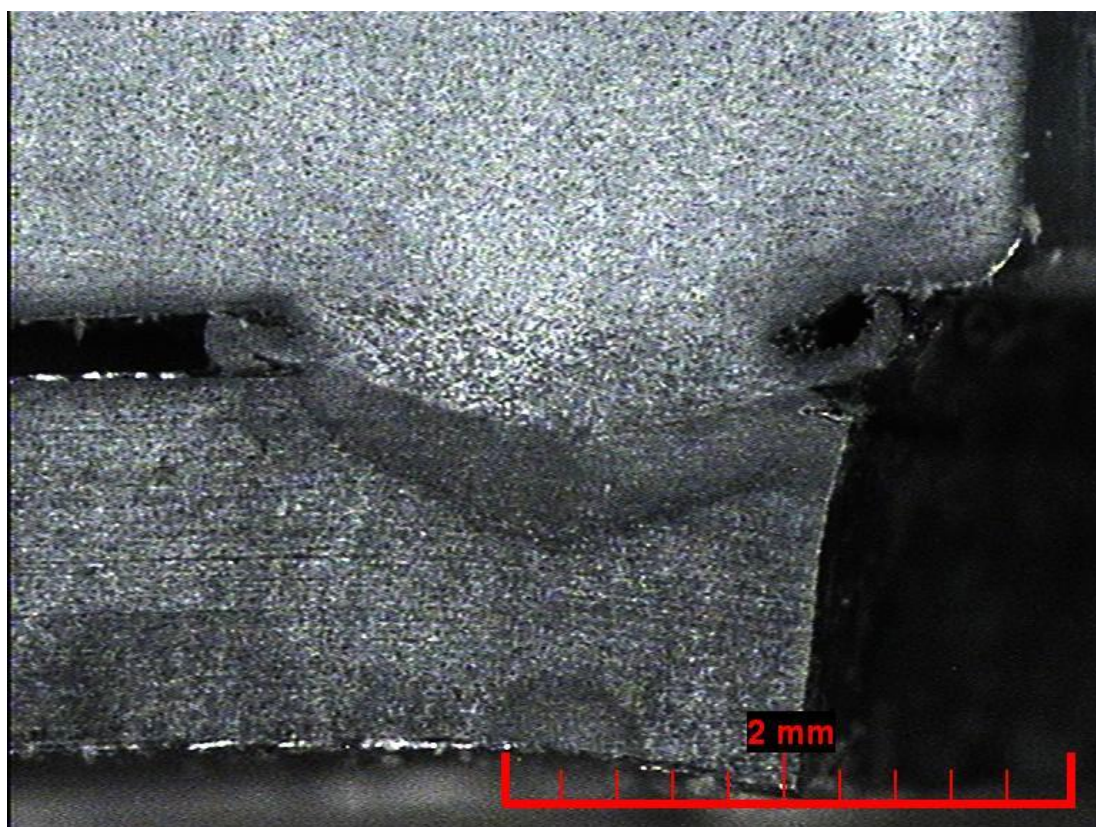
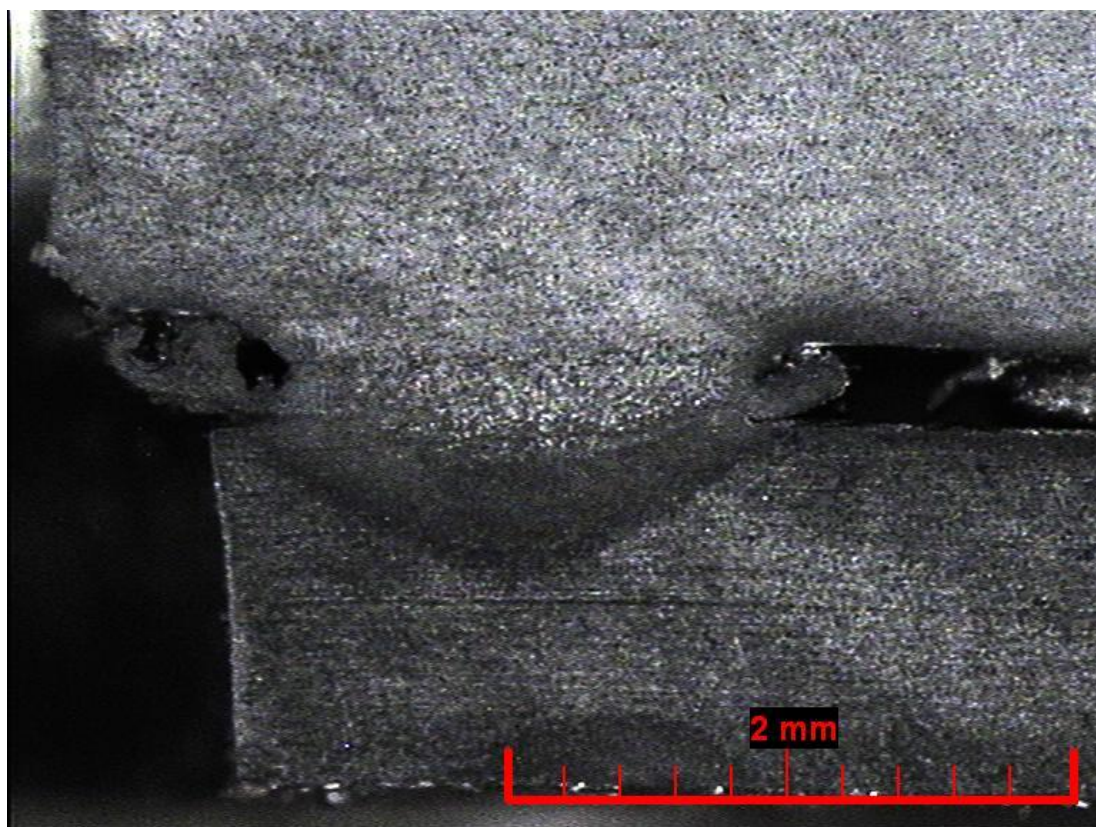


- matice označená č. 2





- matice označená č. 3





- matice označená č. 4

